



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Tuomo Liesaho

AURINKO- JA KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN INTEGROINTI ASUINKERROSTALOSSA

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin
tutkintoa varten

Espoossa 25.10.2012

Työn valvoja: Professori Kai Sirén
 LVI-tekniikka

Työn ohjaaja: DI Teemu Salonen

AALTO-YLIOPISTO TEKNIIKAN KORKEAKOULUT PL 11000, 00076 AALTO http://www.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Tuomo Kristian Liesaho			
Työn nimi: Aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmän integrointi asuinkerrostalossa			
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu			
Laitos: Energiatekniikan laitos			
Professuuri: LVI-tekniikka		Koodi: K3008	
Työn valvoja: Prof. Kai Sirén Työn ohjaaja: DI Teemu Salonen			
<p> Työn tavoitteena on laatia kaukolämpöön liitetyn asuinkerrostalon aurinkolämpöjärjestelmän suunnitteluohjeet ja järjestelmäkuvaus. Lisäksi tarkoituksena on muun muassa selvittää kaukolämmön varastoinnin sekä aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integroinnin taloudellisuutta sekä integroinnin vaikutusta rakennuksen energiankäytön aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin. </p> <p> Työssä esitetyt taustatiedot on saatu pääosin kirjallisuustutkimuksen kautta. Poikkeuksena edelliseen on kuitenkin kaukolämpöyhtiöiden suhtautuminen aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointiin, jota on selvitetty kyselyiden avulla. Työn päätulokset laskettiin käyttäen TRNSYS 17-simulointiohjelmaa. Simuloinnit on tehty kahdelle NCC:n mallirakennukselle, joista toinen on pistemäinen asuinkerrostalo ja toinen lamellikerrostalo. </p> <p> Molempien rakennusten kohdalla saatiin kokonaislämmönkulutuksesta keskimäärin 13 % katettua aurinkolämmöllä. Aurinkokeräimet päätettiin sijoittaa talojen katolle 45°-kallistuskulmaan aurinkokeräimien lämmöntuoton maksimoimiseksi. Keräinalaa saatiin mahduttettua molempien talojen katolle noin 100 m², kun aurinkokeräimille ei ollut erikseen jätetty tilavarausta rakennuksia suunniteltaessa. </p> <p> Aurinkolämmöntuotto keräinalaa kohden jäi kuitenkin sen verran heikoksi, että integroinnista ei tullut taloudellisesti kannattavaa. Kaukolämmön varastointi aurinkolämpövaraajaan todettiin myös käytännössä taloudellisesti kannattamattomaksi kaukolämmön tuntikohtaisesta laskutuksesta huolimatta. Molempien rakennusten vuosittaisesta energiankulutuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt kuitenkin vähenivät merkittävästi integroinnin johdosta. Näin myös siitä huolimatta, että hiilidioksidipäästöissä otettiin huomioon myös integroinnin aiheuttama kaukolämpöveden paluulämpötilan nousu, joka taas aiheuttaa kaukolämmön ja sähkön yhteistuotannossa sähköntuotannon hyötysuhteen heikentymistä. </p> <p> Aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointia suunniteltaessa kannattaa pitää mielessä, että tuotetusta aurinkolämmöstä vain kymmenkunta prosenttia menee muuhun tarkoitukseen kuin käyttöveden esilämmitykseen tai lattialämmitykseen. Lisäksi integrointi kannattaa ottaa huomioon jo rakennusta suunniteltaessa varaamalla rakennuksen katolle tilaa aurinkokeräimiä varten ja tekniseen tilaan aurinkolämpövaraajaa varten. </p>			
Päivämäärä: 25.10.2012		Kieli: Suomi	
		Sivumäärä: 68 + 26	
Avainsanat: aurinkolämpö, kaukolämpö, TRNSYS, hiilidioksidipäästöt			

AALTO UNIVERSITY SCHOOLS OF TECHNOLOGY PO Box 11000, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS	
Author: Tuomo Kristian Liesaho			
Title: Integration of Solar Heating and District Heating Systems in Apartment Building			
School: School of Engineering			
Department: Department of Energy Technology			
Professorship: HVAC Technology			Code: K3008
Supervisor: Prof. Kai Sirén			
Instructor: MSc Techn Teemu Salonen			
<p>The objective of this master's thesis is to establish guidelines for planning and description of an integrated heating system. For the guidelines, it is intent to study, for example, the economy of integration of solar heating and district heating systems. It is also investigated how the integration of solar heating and district heating systems impact on the carbon dioxide emissions of apartment building's energy consumption.</p> <p>In this master's thesis it is used literary research, interviews and TRNSYS 17 simulations. The interviews were made for district heat companies to investigate their opinion on integration. The major results of this study are mainly outcome of simulations. The simulations are made for two NCC's apartment buildings.</p> <p>Both apartment buildings have about 100 m² of roof mounted solar collectors which were the maximum possible amount of collectors. The amount of annual produced solar heat was around 13 % of the total heat consumption of the apartment building. Nevertheless, the amount of annual produced solar heat per collector area was so low that the integration was not economic.</p> <p>After all, the integration reduced annual carbon dioxide emissions of both apartment building's energy consumption. When calculating the reduction of carbon dioxide emissions it was also noticed that integration heated the returning district heat water. And if district heat water returns hotter to the power plant, it will reduce efficiency of electricity production during co-production of heat and electricity.</p> <p>In this study it was noticed that the integration of solar and district heat systems is quite likely uneconomic especially if the price of district heat is much lower in the summertime than in the wintertime. The main reason for integration is then the matter-of-fact that the integration reduces apartment building's annual carbon dioxide emissions if the district heat is not produced with renewable energy resources.</p> <p>While designing the integration of solar and district heat systems, one should take into account that most of produced solar heat is used just for preheating of domestic hot water and underfloor heating of bathrooms. In addition, the integration should be taken into account also in building's architectural design.</p>			
Date: 25.10.2012		Language: Finnish	Number of pages: 68 + 26
Keywords: solar heating, district heating, TRNSYS, carbon dioxide emission			

Esipuhe

Haluan kiittää diplomityöni ohjaajaa Teemu Salosta ja valvojaa Kai Siréniä saamistani neuvoista ja tuesta työni aikana. Lisäksi haluan kiittää Optiplan Oy ja NCC Rakennus Oy:tä, joilta sain mahdollisuuden ja aiheen diplomityöhön. Erityiskiitos vielä vanhemmilleni, jotka ovat tukeneet minua koko opiskeluajan.

Helsingissä 25.10.2012



Tuomo Liesaho

Sisällysluettelo

Diplomityön tiivistelmä.....	2
Abstract of Master's Thesis.....	3
Esipuhe.....	4
1 Johdanto.....	7
1.1 Työn tausta.....	7
1.2 Tutkimusongelma.....	8
1.3 Työn tavoite.....	8
1.4 Työn rajaus.....	9
2 Kauko- ja aurinkolämpöjärjestelmät.....	10
2.1 Kaukolämpöjärjestelmä.....	10
2.1.1 Kaukolämmön tuotanto.....	10
2.1.2 Kaukolämmön kulutus ja varastointi.....	11
2.1.3 Kaukolämmön päästöt ja hinta.....	14
2.1.4 Kaukolämmitetyn kerrostalon ominaispiirteet.....	16
2.2 Auringonsäteily ja ilmasto.....	17
2.3 Aktiivinen aurinkolämpöjärjestelmä.....	19
2.3.1 Aurinkokeräimet.....	20
2.3.2 Aurinkokeräimien sijoitus ja suuntaus.....	23
2.3.3 Varaajat.....	25
2.3.4 Lämmönsiirtimet.....	26
2.4 Kauko- ja aurinkolämpöjärjestelmien integrointi.....	27
2.4.1 Kaukolämpöyhtiöiden kanta integrointiin.....	28
2.4.2 Aikaisemmat toteutukset.....	30
2.4.3 Aurinkolämmön vaikutus kaukolämmön päästöihin.....	31
3 Integroinnin toteutus.....	32
3.1 Toteutuksen kohde.....	32
3.1.1 Pistetalo.....	32
3.1.2 Lamellitalo.....	34
3.2 Kytkevävaihtoehdot.....	36
3.2.1 Kaukolämpökytkennät.....	36
3.2.2 Integroidut kytkennät.....	38
3.3 Simuloinnin kuvaus.....	39
3.3.1 Simulointiohjelma.....	39
3.3.2 Järjestelmien simuloitavat mallit.....	40
3.4 Muun laskennan kuvaus.....	42

4	Simuloinnin ja laskennan tulokset.....	44
4.1	Kaukolämpöveden paluulämpötila.....	44
4.2	Aurinko- ja kaukolämmön kulutus.....	45
4.3	Kaukolämmön varastointi ja tuntikohtainen laskutus	48
4.4	Hiilidioksidipäästöt	52
4.5	Aurinkolämpöjärjestelmän taloudellisuus	54
5	Järjestelmäkuvaus ja suunnitteluohjeet.....	56
5.1	Järjestelmäkuvaus.....	56
5.2	Suunnitteluohjeet.....	58
6	Johtopäätökset	63
5.1	Tulosten pohdinta	63
5.2	Ehdotukset jatkotoimenpiteistä	64
	Lähdeluettelo	66
	Liitteet.....	69

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

EU on asettanut vuonna 2007 tavoitteeksi, että koko EU:n alueella vuonna 2020 uusiutuvien energianlähteiden osuus on 20 % energian loppukulutuksesta. Tämä tarkoittaa uusiutuvien energianlähteiden osuuden kolminkertaistamista vuoteen 2005 verrattuna. Suomessa uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta oli 28,5 % vuonna 2005. EU:n asettaman tavoitteen myötä Suomi on päättänyt nostaa uusiutuvien energianlähteiden osuuden 38 % vuoteen 2020 mennessä. (Asplund;ym., 2009)

Suomen tavoitteen toteutuminen edellyttää siis uusiutuvan energian lisäämistä 38 TWh, josta asuntojen lämmityssektorille on asetettu 11,6 TWh. Aurinkolämmön osuudeksi rakennusten lämmönkulutuksesta on asetettu 0,25 TWh. (Asplund;ym., 2009) Toistaiseksi rakennusmääräykset eivät vaadi uusiutuvan energian käyttöä kaukolämmityksissä kerrostaloissa. Edellä mainituista tavoitteista johtuen on kuitenkin erittäin todennäköistä, että uusiutuvan energian käyttöä tullaan tulevaisuudessa vaatimaan kaikilta uusilta kerrostaloilta.

Suomessa on kokeiltu aurinkolämmön integrointia kaukolämpöön esimerkiksi Eko-Viikissä. Eko-Viikissä päästiin kohteen As Oy Helsingin Auringonkukka kohdalla aurinkolämmön osuudessa vähän yli 10 % vuotuisesta kokonaislämmönkulutuksesta jokaisena seurantavuonna. Tämän lisäksi, kohteen As Oy Helsingin Valkoapila kohdalla päästiin kolmena seurantavuotena aurinkolämmön osuudessa jopa yli 15 % vuotuisesta kokonaislämmönkulutuksesta aurinkokeräinalan lisäyksen jälkeen. (SOLPROS, 2004)

Kaukolämmön osuus rakennusten energiankulutuksesta oli 46 % vuonna 2011. Tämä vastaa 30,1 TWh energiankulutusta ja tilastojen perusteella kulutus on toistaiseksi kasvamaan päin. Uusiutuvilla polttoaineilla kaikesta myydyistä kaukolämmöstä tuotettiin noin 12 TWh eli noin 40 %. (Energiateollisuus ry, 2012)

Kaukolämmitettyjen rakennusten vuosittainen ominaislämmönkulutus on tällä hetkellä noin 130 kWh/m² (Energiateollisuus ry, 2012) ja kaukolämpöön kytkettyjen kerrostalojen yhteenlaskettu kerrosala on noin 78 000 000 m² (Tilastokeskus, 2010). Näin laskettuna kerrostalojen vuosittaiseksi kaukolämmönkulutukseksi saadaan noin 10 TWh. Mikäli kaikki kaukolämpöön liitetyt kerrostalot ottaisivat aurinkolämpöjärjestelmät osaksi kaukolämpöjärjestelmää, saataisiin aurinkolämpöä vuosittain jo 10 % kokonaisuudella 1 TWh, joka kaukolämmön kohdalla korvaisi 0,6 TWh uusiutumattomaa energiaa. Tämäkin ylittäisi vielä selvästi Suomen aurinkolämmölle asetamat tavoitteet.

Aurinkolämmön integrointi kaukolämmitetyissä kerrostaloissa on siis erittäin varteen otettava vaihtoehto toteutettaessa Suomen uusiutuvien energianlähteiden käytön tavoitetta. Eko-Viikistä saatujen kokemusten perusteella integroinnin toteutuksessa on kuitenkin vielä parannettavaa ja aihe vaatii vielä lisätutkimusta. Tämän diplomityön tarkoituksena onkin antaa ohjeita integroinnin toteutukseen sekä selvittää, miten integrointi voidaan toteuttaa talouden ja ympäristön kannalta parhaiten.

1.2 Tutkimusongelma

Integroitaessa aurinkolämpöjärjestelmää kerrostalon kaukolämpöjärjestelmään, keskeiseksi ongelmaksi tulee, kuinka integroinnin voi toteuttaa parhaiten taloudellisuutta ja ympäristöystävällisyyttä ajatellen. Koska integroinnin toteutukselle ei tällä hetkellä ole mitään virallista ainoaa sallittua menetelmää, ei tutkimusongelmaan saada suoraa ratkaisua mistään. Tämän vuoksi tutkimusongelma joudutaan jakamaan pienempiin osaongelmiin ratkaisun saamiseksi.

Aurinkokeräimien osalta ongelmana on ratkaista sopivan keräinalan suuruus, käytettävä keräintekniikka sekä aurinkokeräimien sijoitus. Kun edelliset ovat tiedossa, saadaan selvitettyä myös aurinkokeräimien aiheuttamat kustannukset ja hiilidioksidipäästöt sekä niiden keräämän lämmön määrä. Nämä tulee laskea aurinkokeräimien koko käyttöiän ajalta todellisten kustannusten ja tuottojen selvittämiseksi.

Keräinalan kasvaessa, uudeksi ongelmaksi tulee kuitenkin varsinkin kesäisin se, että kerätyn aurinkolämmön määrä ylittää kulutuksen. Tämä ongelma voidaan ratkaista varaajalla. Tällöin varaajan koko määrää sen, kuinka suuri osa kulutuksen ylittävästä osuudesta saadaan hyödynnettyä myöhemmin. Varaajan kokoa ei kuitenkaan voi kasvattaa loputtomiin, koska koon kasvaessa kasvavat myös varaajan hinta ja lämpöhäviöt.

Kaukolämmön osalta ei myöskään selvitä ongelmitta. Integrointiin on saatava hyväksyntä kaukolämpöyhtiöltä, joka päättää muun muassa sallituista kytkentätavoista yhdistettäessä aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmää. Kytkentätapa vaikuttaa myös siihen, onko ylimääräistä aurinkolämpöä mahdollista myydä kaukolämpöverkkoon.

Edellä mainitut ongelmat koskettavat lähinnä kerrostaloa, johon aurinkolämpöjärjestelmä tulee. On kuitenkin selvää, että integroitujen aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien yleistyessä ongelmia tulee myös kaukolämmön tuottajille. Lisääntynyt aurinkolämpö johtaa todennäköisesti kaukolämpöveden jäähtymän pienenemiseen ja näin kaukolämmön tuotannon hyötysuhteen huononemiseen. Tuotannossa saatetaan tulevaisuudessa joutua ottamaan huomioon myös auringon säteilyn vaihtelu lisäämällä paremmin säädettävän ja hiilidioksidintensitiivisemmän kaukolämmön tuotannon osuutta.

1.3 Työn tavoite

Tavoitteena on laatia kaukolämpöön liitetyn kerrostalon aurinkolämpöjärjestelmän suunnitteluohjeet ja järjestelmäkuvaus. Suunnitteluohjeissa pyritään mainitsemaan aurinkolämmön ominaispiirteitä, jotka tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Lisäksi suunnitteluohjeissa annetaan neuvoja aurinkolämpöjärjestelmä mitoittamiseksi. Järjestelmäkuvauksessa esitellään kaukolämpöyhtiön hyväksymä ja aurinkolämmön tuotannon kannalta parhaimman integroidun kytkennän toimintaperiaate ja kytkentäkaavio.

1.4 Työn raja

Tässä diplomityössä on päätetty keskittyä asuinkerrostaloihin, koska reilu neljännes kaukolämpöön kytketyistä rakennuksista on kerrostaloja (Tilastokeskus, 2010). Lisäksi kerrostalojen kaukolämmön kulutusprofiilit ovat melko samankaltaisia. Osa työn sisällöstä voi kuitenkin olla sovellettavissa myös muunlaisiin rakennuksiin.

Aurinkolämmön osalta työssä on päätetty keskittyä aktiiviseen eli erityisten laitteiden avulla kerättävään aurinkolämpöön passiivisen eli rakennuksen rakenteiden avulla kerättävän aurinkolämmön sijaan. Tämä johtuu aktiivisen aurinkolämmön paremmasta säädettävyydestä sekä mahdollisuudesta lisätä aktiivinen aurinkolämpöjärjestelmä rakennukseen myös jälkikäteen.

Työssä tehtävät aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmän simuloinnit toteutetaan käyttäen esimerkkeinä NCC:n kahta toisistaan poikkeavaa ja pääkaupunkiseudulle rakennettavaa kerrostaloa. Simuloinnin tuloksena saatava järjestelmä ei kuitenkaan välttämättä sovi sellaisenaan johonkin toiseen kerrostaloon vaan voi vaatia uudelleen mitoitus. Järjestelmän mitoitus on hyvä tarkistaa, mikäli kerrostalon kulutusprofiili, koko tai sijainti poikkeaa merkittävästi simuloinnin kohteena käytetyistä kerrostaloista. Myös aurinkokeräimien sijoitusta voi joutua muuttamaan merkittävien varjostusten takia.

2 Kauko- ja aurinkolämpöjärjestelmät

2.1 Kaukolämpöjärjestelmä

Kaukolämmöllä tarkoitetaan keskitetysti tuotettua ja julkisesti asiakkaille jaettua lämpöä. Asiakkaina ovat rakennukset, jotka käyttävät kaukolämpöä käyttöveden, tilojen ja mahdollisesti myös ilmanvaihdon tuloilman lämmitykseen. Vaikka periaate on sama, niin kaukolämpöä ei pidä sekoittaa aluelämpöön, joka on yleensä pienimuotoisempaa ja siihen ei liity liiketoimintaa.

Kaukolämmölle on erittäin tyypillistä sähkön ja lämmön yhteistuotanto ja esimerkiksi Suomessa noin 75 % kaukolämmön tuotannosta on yhteistuotantoa. Yhteistuotannon kilpailuetuna on se, että tuotannosta aiheutuneet kustannukset ja päästöt jakautuvat molemmille tuotteille. Yhteistuotannolla saadaan myös energiatehokkuutta lisätyä noin 30 % verrattuna erillistuotantoon. Hiilidioksidipäästöissä tämä tarkoittaa 350 kg/MWh vähennystä. (Energiateollisuus ry, 2006) Jäljelle jäävä huippulämmön tarve katetaan yleensä erillistuotantona lämpökeskuksissa.

Kaukolämmölle on yhteistuotantoakin ominaisempaa sen asema luonnollisena monopolina. Luonnollisen monopolin asema johtuu kaukolämmön suurista liittymismaksuista sekä kaukolämmön lämmönjakokeskuksen hankintakustannuksista. Liittymisestä aiheutuneiden kustannusten jälkeen kuluttajalla ei siis enää katsota olevan käytännössä mahdollisuutta vaihtaa kaukolämpöä johonkin toiseen lämmitysmuotoon. Kuluttajalla ei ole myöskään mahdollisuutta vaihtaa kaukolämmön myyjää, koska yhden kaukolämpöverkon alueella on vain yksi lämmön tuottaja. (Ahonen, 2011)

Kaukolämmön monopoliasema vahvistui entisestään vuonna 2009, kun maankäyttö- ja rakennuslain 57 §:n muutos astui voimaan. Muutoksessa annettiin kunnille mahdollisuus asettaa asemakaavaan määräys kiinteistön liittämistä kaukolämpöön. Liittymiseltä voi kuitenkin välttyä, mikäli kiinteistöön hankittava vaihtoehtoinen lämmitysjärjestelmä käyttää riittävästi uusiutuvaa energiaa. (Vapaavuori, 2008)

2.1.1 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämpöä voidaan tuottaa kaukolämpövoimalaitoksissa, lämpökeskuksissa tai teollisuusvoimalaitoksissa muun tuotannon ohella. Suomessa kaukolämpöä tuotetaan eniten yhteistuotannossa sähkön kanssa. Tällöin kaukolämpövoimalaitoksen lämmityskattilassa höyrystynyt vesi johdetaan ennen kaukolämpöverkon lauhdutinta turbiiniin, joka pyörittää sähkögeneraattoria. Pelkkää lämpöä tuottavissa lämpökeskuksissa taas turbiinia ei ole, jolloin lämpökattilassa höyrystynyt vesi johdetaan suoraan lauhduttimelle. (Wikstén, 2005) Teollisuusvoimalaitoskin voi tuottaa kaukolämpöä, mikäli tuotannossa syntyy merkittäviä määriä hyödynnettävissä olevaa hukkalämpöä.

Kaukolämpö siirretään tuotantolaitokselta asiakkaille kaukolämpöverkon avulla. Kaukolämpöverkko on suljettu, lämpöeristetty ja maahan kaivettu putkisto. Putkisto on kaksisuuntainen, jossa toista putkea pitkin kaukolämpövesi menee asiakkaille ja

toista putkea pitkin palaa tuotantolaitokselle. Kaukolämpövesi ei kuitenkaan yleensä kierrä suoraan tuotantolaitoksen prosessissa tai asiakkaiden lämmitysjärjestelmässä. Lämpöä siirretään kaukolämpövedeen tuotantolaitoksen lauhduttimessa ja lämpöä otetaan kaukolämpövedestä asiakkaiden lämpökeskuksen lämmönsiirtimissä. Kaukolämpöveden virtaus putkistossa saadaan aikaan pumppaamalla. (Rakennustieto Oy, 2006)

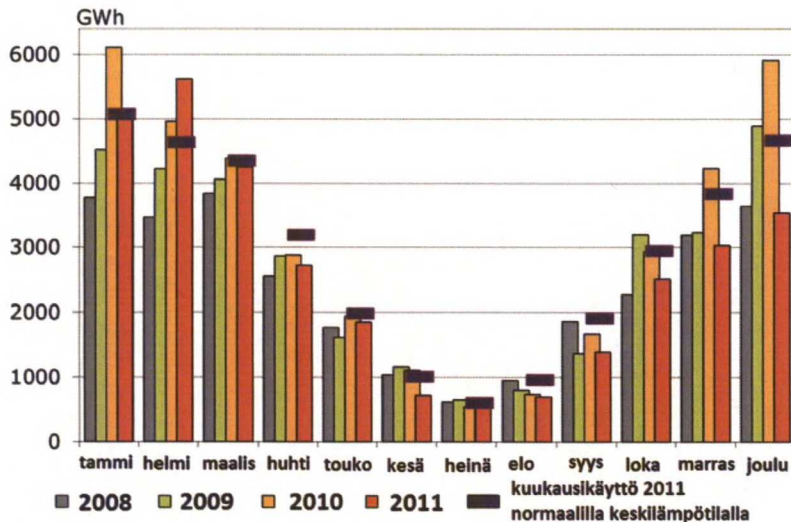
Koska kaukolämmön kulutuksella on tapana vaihdella, joudutaan kaukolämmön tuotantoa säätelemään. Kaukolämmön tuotantoa voi säätää esimerkiksi kaukolämpöveden lämpötilatasoa, painetasoa, paine-eroa tai virtausta muuttamalla. Mitään säätötoimenpiteitä ei kuitenkaan kannata tehdä liian nopeasti, koska lämpötilojen tai paineiden äkilliset muutokset voivat aiheuttaa vaurioita kaukolämpöverkossa. (Pöry Energy Oy, 2008)

Lämpötilatasoa voidaan säätää väliottohöyryllä tai sekoitussäädöllä. Sekoitussäädössä menoveden lämpötilaa muutetaan vaihtamalla lauhduttimelta tulevan ylikuuman veden ja alilämpöisen kaukolämmön paluuv veden sekoitussuhteita. Lämpövoimalaitoksen turbiinista otetulla väliottohöyryllä taas saadaan lauhduttimelta lähtevän kaukolämpöveden lämpötilaa nostettua. (Pöry Energy Oy, 2008) Väliottohöyryn käyttö tosin vähentää merkittävästi sähköntuotantoa, joten sitä kannattaa käyttää vasta, kun sekoitussäätö ei riitä. Kaukolämpöveden lämpötilataso kannattaa valita mahdollisimman alhaiseksi lämpöhäviöiden ja polttoaineen kulutuksen pienentämiseksi sekä sähköntuotannon lisäämiseksi. Lämpötilatason tulee kuitenkin olla riittävä myös kaukolämpöverkon kauimmaisessa pisteessä. (Energiateollisuus ry, 2006)

Kaukolämpöveden painetasoa, paine-eroa ja virtausta muutetaan pumppausta säätämällä. Virtauksen säätö tapahtuu virtausnopeutta säätämällä, jolloin esimerkiksi kasvaneeseen kaukolämmön kulutukseen voidaan vastata lämpötilatason nostamisen sijaan kaukolämpöveden virtausta nopeuttamalla. Paine-eron säädöllä taas pyritään ylläpitämään riittävää virtausta kaukolämpöverkossa muuttuvista painehäviöistä huolimatta. Painetason säädöllä taas varmistetaan, ettei kaukolämpöverkkoon pääse ilmaa alipaineen vuoksi tai kaukolämpövesi pääse höyrystymään liian alhaisen paineen vuoksi. (Energiateollisuus ry, 2006)

2.1.2 Kaukolämmön kulutus ja varastointi

Kaukolämpöä käytetään pääasiassa rakennusten ja käyttöveden lämmitykseen. Koska rakennusten lämmityksen tarve on riippuvainen ulkolämpötilasta, on kaukolämmön kulutus selvästi suurempaa talvella kuin kesällä. Tämä on myös nähtävissä kuvasta 2.1, jossa on esitetty Suomen kaukolämmön kulutus kuukausittain muutamana eri vuonna.



Kuva 2.1. Suomen kaukolämmön kulutus kuukausittain eri vuosina (Energiateollisuus ry, 2012).

Yhteistuotannon kannalta tällaiset merkittävät vuodenajoista johtuvat pitkäaikaisvaihtelut kaukolämmönkulutuksessa ovat hieman ongelmallisia, koska sähkönkulutus ei vaihtele yhtä paljon ulkolämpötilan mukaan. Sähkön kulutuksen pienempään pitkäaikaisvaihteluun on syynä se, että sähkölämmityksen osuus koko Suomen sähkönkulutuksesta on vain noin 10 % (Sävel-työryhmä, 2005). Mikäli sähkön tarve kateetaan kesäisinkin yhteistuotannolla, eikä haluta hukata kaikkea samalla tuotettua kaukolämpöä, joudutaan turvautumaan kaukolämmön pitkäaikaisvarastointiin. Toinen merkittävä syy kaukolämmön pitkäaikaisvarastointiin voi olla kaukolämpöverkkoon kytketty suuri aurinkolämpövoimala, joita on esimerkiksi Tanskassa useampiakin (Nielsen, 2012).

Lämpöä voidaan varastoida pitkäksi aikaa pääasiassa erittäin suureen tuntuvan lämmön varastoon, faasimuutosvarastoon tai termokemialliseen varastoon. Tuntuva varastointi perustuu varastointimateriaalin lämpötilan nostoon ja faasimuutosvarastointi perustuu varastointimateriaalin olomuodon muutoksen yhteydessä sitomaan tai luovuttamaan lämpöön. Termokemiallinen varastointi taas perustuu varastointimateriaalissa vuoroin tapahtuviin lämpöä sitoviin ja vapauttaviin lämpökemiallisiin reaktioihin. (Alanen;ym., 2003)

Tuntuvaan lämmön varastointiin soveltuu parhaiten vesi, jolla on muihin vaihtoehtoihin materiaaleihin nähden selvästi suurempi lämmön varastointikyky. Esimerkiksi Oulussa on yksi 190 000 m³ vedellä täytetty kalliovarasto, jota voidaan käyttää lämmön pitkäaikaisvarastointiin (Energiateollisuus ry, 2006). Termokemialliseen varastointiin voi käyttää esimerkiksi Saksassa kehitettyä ja erityisesti aurinkolämmön varastointiin tarkoitettua silikageeliä. Lämmön varastoiminen tapahtuu kuivaamalla silikageeliä ja lämmön purkaminen kostuttamalla sitä. Faasimuutosvarastointiin taas käytetään usein erilaisia suoloja. Ne tosin menettävät ominaisuuksiaan käytön myötä. (Alanen;ym., 2003)

Kun halutaan tarkastella pitkäaikaisvarastoinnin tarpeen sijaan lyhytaikaisvarastoinnin tarvetta, tulee kaukolämmön kulutukseen perehtyä tuntitasolla. Liitteessä 1 onkin

kuvattu Helsingin Energian asiakkaiden kaukolämmön, -kylmän ja sähkön kulutusta viikolla 10 vuonna 2012. Kuvaajasta on huomattava se, että tuotantoprofiili voi vaihdella eri kaukolämpöyhtiöiden välillä johtuen muun muassa alueen erilaisesta rakennuskannasta. Lisäksi kaukolämmön tehotasot riippuvat hyvin paljon ulkolämpötilasta. Itse käyrän muoto ei kuitenkaan vaihtelee merkittävästi eri viikkoina.

Liitteen kuvaajasta voidaan panna merkille, että kaukolämmön kulutus on suurimmillaan arkipäivien aamutunteina. Syynä tähän on hyvin todennäköisesti lisääntynyt lämpimän käyttöveden kulutus ennen töihin ja kouluun lähtöä. Samanlaista, mutta pienempää kulutuksen kasvua on myös havaittavissa iltatuntien aikana viikon jokaisena päivänä. Viikonloppuna on aamutuntien osalta selvästi havaittavissa lämpimän käyttöveden kulutuksen tasaisempaa jakautumista.

Koska Suomessa noin 75 % ja Helsingin energialla noin 85 % kaukolämmön tuotannosta on tuotettu sähkön ja lämmön yhteistuotannolla (Energiateollisuus ry, 2011), on syytä huomata myös pienet eroavaisuudet sähkön ja kaukolämmön kulutusprofiileissa. Sähkön kulutus ei esimerkiksi kasva aamutunteina yhtä paljon kuin kaukolämmön kulutus. Lisäksi sähkön kulutus pysyy melko vakiona aamusta iltaan eikä laske kaukolämmön tavoin puolenpäivän aikoihin.

Koska yhteistuotannon säätäminen on melko hidasta ja muutokset tuotannossa aiheuttavat turhaa kuormitusta kaukolämpölaitokselle ja -verkolle, on järkevintä hoitaa edellä esitetyt kulutusvaihtelut kaukolämmön lyhytaikaisvarastoinnin avulla. Kaukolämmön lyhytaikaisvarastoinnille on myös muitakin syitä. Sillä voidaan esimerkiksi pienentää tuotantolaitosten mitoitus-tehoa, koska huippukulutusjaksojen kesto on yleensä lyhytaikainen. Varastolla voidaan myös kompensoida lämmön tuotannossa tapahtuvia häiriöitä tai hetkellisiä muutoksia. (Energiateollisuus ry, 2006)

Edellä mainittujen lisäksi, lyhytaikaisvarastoinnilla voidaan vähentää sähkön ja kaukolämmön tuotannon riippuvuutta toisistaan ainakin vuorokausitasolla. Lyhytaikaisvaraston laadusta ja kytkentätavasta riippuen, sen sisältämää vettä voi käyttää lämmön varastoinnin lisäksi kaukolämpöverkossa tapahtuvien pienien tai lyhytaikaisten suurempien vuotojen kompensointiin.

Lyhytaikaisvarastona voidaan käyttää esimerkiksi vedellä täytettyä teräs- tai betonisäiliötä, höyryvaraajaa tai kaukolämpöverkkoa. Terässäiliö voi olla paineistettu tai paineistamaton. Paineistamattomat terässäiliöt ovat halvemman hintansa vuoksi yleisempiä, mutta tällöin niissä olevan veden suurin mahdollinen lämpötila on 100 °C. Höyryvaraajan tapauksessa säiliön on kuitenkin oltava paineistettu. Betonisäiliöiden heikkoutena taas on betonista veteen liukenevat ainesosat, joiden vuoksi betonisäiliön vesi ei voi olla suorassa yhteydessä kaukolämpöverkkoon. (Energiateollisuus ry, 2006)

Kaukolämpöverkon käyttämistä lämmön varastointiin kutsutaan akkumuloinniksi. Akkumuloinnissa kaukolämpöverkon menopuolelle johdetaan tavallista kuumempaa vettä. Kun kuluttajien kaukolämpölaitteet huomaavat saapuvan veden kuumemmaksi, ne pienentävät virtausta säilyttääkseen kaukolämmön paluuveden lämpötilan samana. Tällöin koko kaukolämpöverkon virtaus pienenee ja sinne ladattavan lämmön määrä pienenee. Akkumulointi on siis varsin lyhytkestoinen lämmön kulutuksen kasvua

ennakoiva toimenpide. Menoveden lämpötilan nostaminen tulee kuitenkin tehdä maltillisesti, koska liian nopea lämpölaajeneminen voi vahingoittaa kaukolämpöverkkoa.

2.1.3 Kaukolämmön päästöt ja hinta

Kaukolämmön laskutusperiaate vaihtelee jonkun verran maakohtaisesti. Suomessa kaukolämpölasku koostuu perus- ja kulutusmaksusta. Perusmaksulla katetaan muun muassa lämmöntuotantolaitosten ja kaukolämpöverkon rakentamisesta ja ylläpitämisestä aiheutuneita kuluja. Kulutusmaksulla katetaan lämmön hankinnasta aiheutuneet kulut, kuten polttoaineiden, päästökaupan ja energiaveron kustannukset.

Perusmaksun suuruus riippuu kaukolämpöliittymän tilaustehosta. Tilaustehona ei käytetä rakennuksen mitoitustilanteessa tarvitsemaa suurinta lämmitystehoä, koska käyttöveden lämmityksen aiheuttamat lyhytkestoiset kulutuspiikit voidaan korvata vähentämällä hetkellisesti lämmitystehoä. Tilausteho lasketaankin lämmityksen ja ilmastoinnin suurimman tehon sekä käyttöveden lämmityksen tuntikeskitehon summana (Energiateollisuus ry, 2006). Mikäli kaukolämmön yhteydessä on käytössä varaaja, tulee tilausteho määrittää varaajan tehontarpeen mukaan.

Kulutusmaksun suuruus taas määräytyy todellisen käytetyn lämpöenergian mukaan. Tavallisesti kulutusmaksun hinnoittelu pysyy samana koko vuoden tai muuttuu eri tariffien mukaan. Tariffit ovat yleensä erilaiset kesä- ja talvikausille. Helsingin Energialla on ensimmäisenä käytössään oma tariffin sa myös huippukulutuskaudelle. (Pesola;ym., 2011)

Tariffien keskeisimpänä ongelmana on se, että ne kuvaavat kaukolämmön tuotannon keskimääräisiä kustannuksia todellisten kustannusten sijaan. On itsestään selvää, että kovimpien pakkasten aikana osin lauhdetuotannolla tuotetun kaukolämmön kustannukset ovat suuremmat kuin lämpimämpänä aikana kokonaan yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön. Mikäli kaukolämmön hinta pysyy kuitenkin saman ympäri vuoden, ei se kannusta säästeliääseen lämmönkäyttöön kovimpien pakkasten aikaan.

Pitkäkestoiset tariffit ovat ongelmallisia myös ympäristön kannalta. Tämä johtuu siitä, että usein kaukolämmön tuotannosta ympäristölle aiheutuvan kuormituksen suuruus seuraa kaukolämmön kustannusten suuruutta. Toistaiseksi kuitenkin esimerkiksi Helsingin Energia ei ole siirtymässä nykyistä tarkempaan hinnoitteluun (Takki, 2012) ja Vantaan Energiakin on siirtymässä vakiohinnoittelusta ainoastaan kesä- ja talvitariffeihin (Kortelainen, 2012).

Edellisten toistuvien maksujen lisäksi kaukolämpöön liittyessä tulee maksaa kertaluonteinen liittymismaksu. Liittymismaksun suuruus riippuu tilaustehosta ja liittymäjohtojen pituudesta. Liittymismaksun suuruuteen voi siis vaikuttaa sijoittamalla lämmönjakokeskus rakennuksessa siten, että se on mahdollisimman lähellä kaukolämpöverkon liittymäpistettä.

Alla olevassa taulukossa 2.1 on esitetty kolmen pääkaupunkiseudulla toimivan kaukolämpöyhtiön hinnaston mukaiset energiamaksut. Lisäksi hinnastoon on laitettu vertailun vuoksi liittymis- ja tehomaksu, kun rakennuksen tilausteho on 175 kW.

Taulukko 2.1. Kaukolämpöhinnasto.

Kaukolämpöhinnasto	Kaukolämpöyhtiö		
	Helsingin Energia	Fortum	Vantaan Energia
Maksutyyppi:			
Liittymismaksu €	16 500	24 900	26 000
Tehomaksu €/vuosi	7 000	6 800	5 800
Energiamaksu €/MWh			
Kesäkausi (toukokuu - lokakuu)	29,37	59,66	63,49
Talvikausi	54,42	59,66	63,49
Huippukulutuskausi (tammi- ja helmikuu)	58,29	59,66	63,49

Kaukolämpöä pidetään ympäristön kannalta erittäin hyvänä rakennusten lämmitys-muotona. Syynä tähän on kaukolämmön yhteistuotannon suuri osuus ja tuotannossa tavallisesti käytetyt vähäpäästöiset polttoaineet. Yhteistuotannon ympäristöystävällisyys perustuu koko tuotannon päästöjen jakautumiseen sekä sähkölle että lämmölle. Näin kiinteistön käyttämän lämpöenergian aiheuttama ympäristökuormitus jää merkittävästi pienemmäksi kuin jos lämpöenergia olisi tuotettu kiinteistön omalla ja samaa polttoainetta käyttävällä lämpökattilalla.

Yksittäinen kiinteistö voi toki hankkia sekä sähköä että lämpöä tuottavan mikro-CHP laitoksen. Niiden hinnat ovat kuitenkin toistaiseksi sen verran korkeat, että kiinteistöt hankkivat todennäköisemmin huomattavasti halvemman lämpökattilan. (Hintikka, 2004) Pienissä lämpökattiloissakin on toistaiseksi esimerkiksi öljyn ja pelletin välillä selvä hintaero öljyn hyväksi.

Suuremmissa ja lähes jatkuvasti käytössä olevissa kaukolämpölaitoksissa polttoaineiden hinnat ovat kuitenkin investointikustannuksia olennaisempia. Tämän vuoksi maakaasua, turvetta tai puuhaketta käyttävät laitokset ovat yleensä öljyä käyttäviä suositumpia. Lisäksi savukaasujen puhdistaminen on huomattavasti edullisempaa keskitetysti suuressa lämpölaitoksessa kuin kiinteistön pienessä lämpökattilassa, koska puhdistamisesta aiheutuvat kustannukset jakautuvat merkittävästi useammalle lämmön käyttäjälle.

Kaukolämmön hiilidioksidipäästöt vaihtelevat energiayhtiöstä riippuen. Vaihtelua aiheuttaa muun muassa erilaiset paikalliset energiavarannot sekä maakohtaisesti vaihteleva energiaverotus ja uusiutuvan energian tukipaketit. Taulukossa 2.2 on esitetty kahden suomalaisen ja kahden ruotsalaisen energiayhtiön kaukolämmön hiilidioksidipäästöt ja pääpolttoaineet vuonna 2010 perustuen yhtiöiden kotisivuilla ilmoitettuun tietoihin.

Taulukko 2.2. Neljän energiayhtiön kaukolämmön päästöt ja pääpolttoaineet.

Energiayhtiö	Kaukolämmön CO ₂ -päästöt	Pääpolttoaine
Helsingin Energia	113 g/kWh	Maakaasu
Oulun Energia	289 g/kWh	Turve
Möln dal Energi	121 g/kWh	Puuhake
Lunds Energi	61 g/kWh	Lämpöpumppu

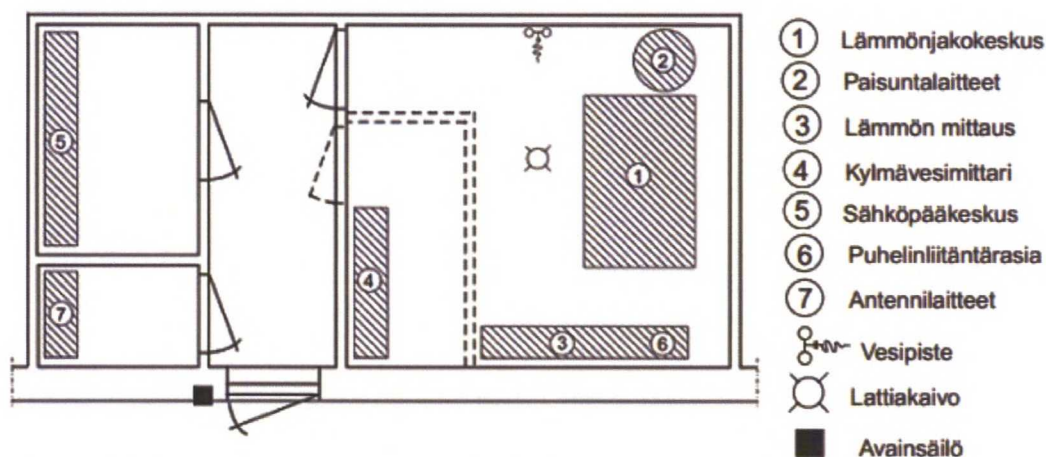
Esimerkiksi Helsingin Energian ja Oulun Energian pääpolttoaineiden eroavaisuus johtunee pääasiassa kyseisten polttoaineiden saatavuudesta. Maakaasun jakeluverkkoa ei nimittäin ole Oulussa, mutta sen sijaan Suomen kaikkien soiden yhteisestä pinta-alasta lähes 30 % sijaitsee Oulun seudulla (Virtanen;ym., 2003). Oulun Energian suuremmat hiilidioksidipäästöt taas johtuvat turpeen käytöstä, koska turpeen poltossa syntyy enemmän hiilidioksidipäästöjä energiayksikköä kohden verrattuna maakaasun polttoon (Suomi;ym., 2004).

Maakaasun ja turpeen suosio Suomen kaukolämmön tuotannossa johtunee vuoteen 2010 asti kestäneestä turpeen verovapaudesta sekä maakaasun matalahkosta verotusasteesta. Ruotsissa taas turpeen käytöstä on joutunut maksamaan rikkiveroa jo vuodesta 1991 lähtien (Liljelund;ym., 2008) ja maakaasunkin verotusaste on ollut Suomen verotusastetta korkeampi. Vuodesta 2011 alkaen turpeen verovapaus Suomessa kuitenkin poistui ja maakaasun verotusastettakin päätettiin nostaa. (Rantakokko, 2010)

Ruotsissa uusiutuvien polttoaineiden kuten puuhakkeen käyttö kaukolämmön tuotannossa on Suomea selvästi yleisempää. Syynä tähän on todennäköisesti vuonna 2003 käyttöön otettu vihreiden sertifikaattien järjestelmä. Järjestelmässä uusiutuvalla energialla tuotetusta sähköstä saa sertifikaatteja, jotka voi myydä erillisillä sertifikaattimarkkinoilla. Sertifikaatteja ostavat sähkönkuluttajat, jotka on edellytetty ostamaan tietty määrä sertifikaatteja suhteessa kuluttamaansa sähköön. Vihreiden sertifikaattien järjestelmä onkin tuonut lisätuloja niille energiayhtiöille, joilla on yhteistuotantoa ja käyttävät uusiutuvia energialähteitä tuotannossaan. (Aarnos, 2002)

2.1.4 Kaukolämmitetyn kerrostalon ominaispiirteet

Kuten kuvan 2.2 pohjapiirustuksesta ilmenee, kaukolämmitetty kerrostalo eroaa ominaisuuksiltaan muilla tavoin lämmitetyistä kerrostaloista lähinnä lämmönjakokeskuksen osalta. Tavallisesti kaikki muut tekniset laitteet ovat löydettävissä sellaisinaan muistakin kerrostaloista.



Kuva 2.2. Kerrostalon tekninen laitetila. (Rakennustieto Oy, 2004)

Kaukolämmitetyn kerrostalon lämmönjakokeskus koostuu liitteen 2 kytkentäkaavion mukaisesti eri tehtäviä hoitavista lämmönsiirtimistä. Lämmönsiirtimiä on aina vähintään kaksi kappaletta, joista toinen lämmittelee käyttövetä ja toinen kerrostalon lämmitysjärjestelmän kiertovettä. Mikäli kerrostalossa on tulo-poistoilmanvaihto ilmanvaihto ilman esilämmityksellä, on siihenkin tavallisesti oma lämmönsiirtimensä.

Kerrostalon lämmönjakokeskus on kooltaan noin 1-1,5 m², mutta tilaa kannattaa varata reilusti huoltoa ja asennusta varten. Kaukolämmönlämmönjakokeskus on kuitenkin hyvin vähän tilaa vaativa verrattuna esimerkiksi öljylämmitykseen, jossa tilaa tulee varata kattilalle, öljysäiliölle ja lämminvesivaraajalle. Teknisen laittilan kokoa päätettäessä kannattaa kuitenkin pitää mielessä, että tilaa voi olla vaikea suurentaa jälkikäteen, mikäli kaukolämmön yhteyteen päätetään ottaa jokin toinen lämmitysjärjestelmä.

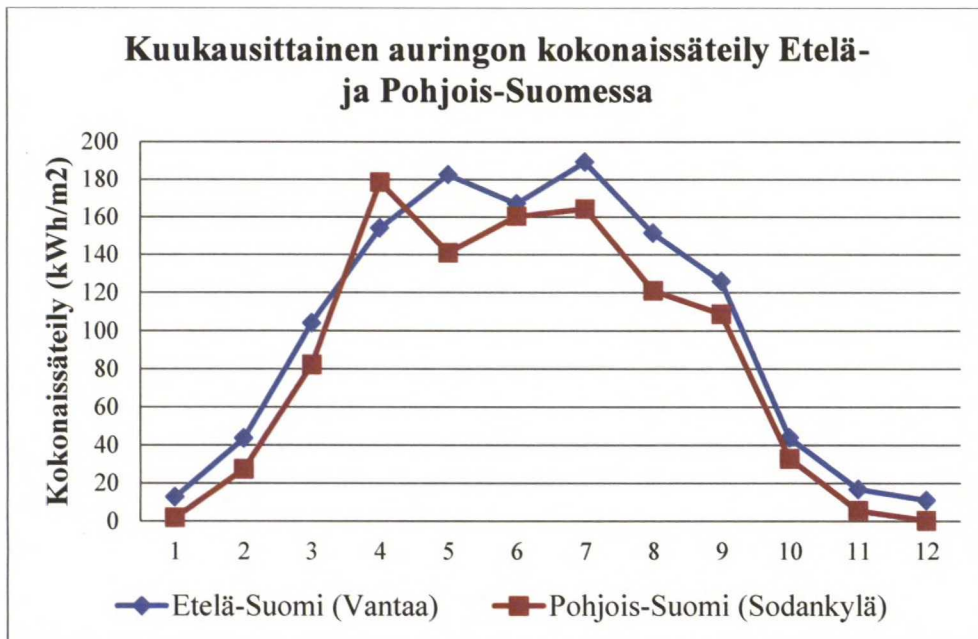
Teknisen laittilan sijainti rakennuksessa tulee valita siten, että liittymisjohto kaukolämpöverkosta laittilaan on mahdollisimman lyhyt. Samalla tulee kuitenkin varmistaa, että laitteista aiheutuva melu ei ylitä asuinhuoneistoissa sallittua äänitasoa. Vaikka esimerkiksi sähköpääkeskusta ei laitettaisikaan samaan tilaan lämmönjakokeskuksen ja vesimittarien kanssa, keskitetään nekin rakennuksessa yleensä samaan paikkaan, jotta kaikkien teknisten järjestelmien liittynät saadaan vietyä rakennukseen samassa kaivannossa. (Energiateollisuus ry, 2006)

2.2 Auringonsäteily ja ilmasto

Maanpinnalle tuleva auringon kokonaissäteily voidaan jakaa kolmenlaiseen säteilyyn, joita ovat suora auringonsäteily, hajasäteily ja ilmakehän vastasäteily. Suoralla auringonsäteilyllä tarkoitetaan suoraan pilvettömän ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä. Hajasäteilyllä taas tarkoitetaan ilmakehän hiukkasista, pilvistä sekä maanpinnasta heijastunutta auringonsäteilyä, jonka osuus Suomen kokonaissäteilystä on keskimäärin 50 %. Ilmakehän vastasäteilyllä tarkoitetaan säteilyä, joka on heijastunut maasta ilmakehään ja edelleen ilmakehästä takaisin maahan ilmakehän sisältämän hiilidioksidin, otsonin ja vesihöyryn vaikutuksesta. (Eratym., 2008)

Kuvassa 2.3 on esitetty Etelä- ja Pohjois-Suomen auringon kokonaissäteilyenergia kuukausittain etelään 45-asteen kulmaan asetetulle pinnalle. Kuvasta nähdään, että auringonsäteilyn määrä on hyvin pieni lokakuusta helmikuuhun koskien sekä Etelä- että Pohjois-Suomea. Tästä johtuen aurinkolämpöjärjestelmästä koituva hyöty on talvella lähes mitätön. Lisäksi huomataan, että aurinkolämpöjärjestelmän käyttö ainoana lämmitysjärjestelmänä edellyttäisi Suomessa jo teoriassa vähintään aurinkolämmön pitkäaikaisvarastointia ja erittäin suuria keräinaloja riippumatta rakennuksen sijainnista.

Kesällä taas eroa kokonaissäteilymäärissä Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä alkaa jo olla. Jotta Pohjois-Suomessa päästäisiin maaliskuun ja syyskuun välisenä aikana aurinkolämpöntuotoissa Etelä-Suomen tasolle, tulee keräinala mitoittaa noin 10 % suuremmaksi. Mikäli otetaan vielä huomioon Pohjois-Suomen suurempi lämmöntarve ja aurinkolämpöä hyödynnetään rakennuksen tilojen lämmitykseen, voidaan keräinala mitoittaa vieläkin suuremmaksi.



Kuva 2.3. Kuukausittainen auringon kokonaissäteily etelään 45-asteen kulmaan asetetulle pinnalle nykyilmastossa Etelä- ja Pohjois-Suomessa. (lähde: Ilmatieteenlaitos)

Suuret vuoden aikana tapahtuvat muutokset auringonsäteilyn määrissä johtuvat maan kiertämisestä auringon ympäri ja maan vinosta pyörimisakselista. Talvella auringonsäteily on vähäistä, koska tällöin pohjoinen pallonpuolisko on kallellaan poispäin auringosta jääden osittain kokonaan varjoon. Kesällä taas tilanne on päinvastainen eli pohjoinen pallonpuolisko on kallellaan aurinkoon päin.

Vuorokauden sisällä tapahtuvat muutokset auringonsäteilyn määrissä taas johtuu maan pyörimisestä akselinsa ympäri. Pyörimisliikkeen takia toinen puoli maapallosta on aina kerran vuorokaudessa kohtisuoraan aurinkoon päin ja kerran vuorokaudessa kohtisuoraan poispäin auringosta.

Suomen ilmasto voidaan luokitella väli-ilmastoksi, koska siinä on niin merellisiä kuin mannermaisia piirteitä riippuen kulloinkin vaikuttavasta tuulen suunnasta. Mannermaiset piirteet, kuten kuivuus ja suurehkot lämpötilan vaihtelut, johtuvat itäpuolella olevasta Euraasian mantereesta. Merelliset piirteet, kuten kosteus ja pienet lämpötilanvaihtelut, johtuvat Atlantilta tulevista matalapaineista. Oman paikallisen vaihtelunsa ilmastoon tuo järvet ja maanpinnan korkeuden vaihtelut. (Kersalo;ym., 2009)

Kuten taulukosta 2.3 on nähtävissä, Suomen lämpötilaolot muuttuvat melko paljon kylmemmiksi siirryttäessä etelästä pohjoiseen. Etelässä on esimerkiksi kerrostalojen kohdalla usein tapana sulkea rakennuksen tilojen lämmitys kesäkuun ja elokuun väliseksi ajaksi kosteita tiloja lukuun ottamatta. Pohjoisessa tämä ei kuitenkaan olisi mahdollista kylmemmän kesän vuoksi.

Taulukko 2.3. Keskimääräiset lämpötilat ja lämmöntarveluvut kuukausittain Etelä- ja Pohjois-Suomessa. (lähde: Ilmatieteen laitos)

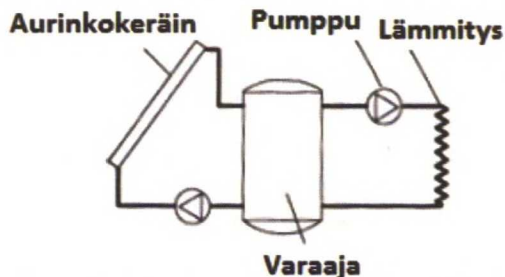
	Etelä-Suomi (Vantaa)		Pohjois-Suomi (Sodankylä)	
	Keskimääräinen lämpötila (°C)	lämmitystarveluku (Kd)	Keskimääräinen lämpötila (°C)	lämmitystarveluku (Kd)
Tammikuu	- 4	650	- 13,1	932
Helmikuu	- 4,5	602	- 12,6	830
Maaliskuu	- 2,6	607	- 6,9	740
Huhtikuu	4,5	354	- 1,6	557
Toukokuu	10,8	117	5,4	337
Kesäkuu	14,2	9	13	115
Heinäkuu	17,3	0	14,4	30
Elokuu	16,1	31	12,1	138
Syyskuu	10,5	161	6,6	303
Lokakuu	6,2	331	0,2	522
Marraskuu	0,5	495	- 6,8	714
Joulukuu	-2,2	595	- 10,1	839

Aurinkolämpöjärjestelmän kannalta kiinnostavimpia tuulia ovat kylmät tuulet, jotka voivat lisätä merkittävästi lämpöhäviöitä aurinkokeräimissä. Kylmistä tuulista selvä enemmistö tulee pohjoisen ja idän väliseltä suunnalta. Asialla on merkitystä, mikäli aurinkokeräimet on esimerkiksi sijoitettu tasakatolle telineasennuksena. Tällöin niiden tausta kannattaa suojata mahdollisuuksien mukaan erityisesti pohjoisen ja idän väliseltä tuulelta. Kylmät tuulet kannattaa ottaa huomioon silloinkin, kun ollaan valitsemassa aurinkokeräimille sopivaa julkisivua. (Erat;ym., 2008)

Pysyvän lumipeitteen keskimääräinen ajankohta vaihtelee melko paljon maan eri osissa. Pohjois-Suomessa pysyvä lumipeite tulee keskimäärin jo lokakuun lopulla ja poistuu toukokuun alussa. Etelä-Suomessa pysyvä lumipeite tulee vasta joulukuun lopussa ja poistuu huhtikuun alussa. (Kersalo;ym., 2009) Kuten kuvasta 2.3 nähdään, voi kevätaikainen lumipeite pienentää merkittävästi aurinkolämpöjärjestelmän vuosituotantoa. Muun muassa tämä ja lumipeitteen aiheuttama kuormitus kannattaa pitää mielessä aurinkokeräimien paikkaa ja kallistuskulmaa valittaessa.

2.3 Aktiivinen aurinkolämpöjärjestelmä

Aktiivinen aurinkolämpöjärjestelmä on auringon säteilyenergiaa lämmöksi muuttava ja lämmön talteen ottava tekninen järjestelmä. Tavallisesti aurinkolämpöjärjestelmä koostuu kuvan 2.4 mukaisesti aurinkokeräimestä, varaajasta sekä lämmönsiirtämiseen ja järjestelmän säätämiseen tarvittavista komponenteista. Poikkeuksellisesti varaajan tilalla voi olla myös pelkkä lämmönsiirrin, mutta varaajan pois jättäminen edellyttää aurinkolämmön saatavuuden ja rakennuksen lämmöntarpeen samanaikaisuutta.



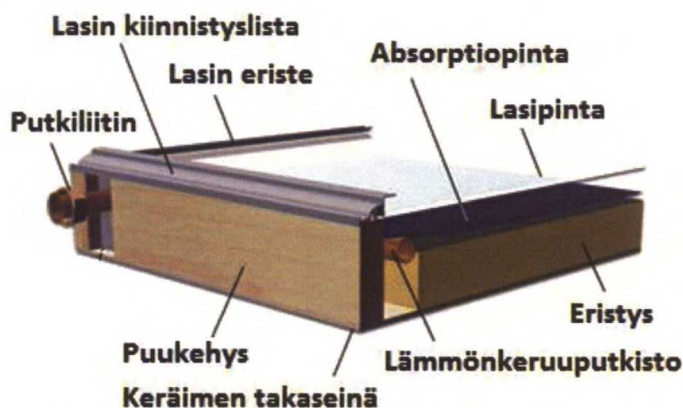
Kuva 2.4. Aktiivisen aurinkolämpöjärjestelmän rakenne. (Seppänen, 2001)

Aktiivinen aurinkolämpöjärjestelmä ei Suomen olosuhteissa voi kuitenkaan olla rakennuksen ainoa lämmitysjärjestelmä. Aurinkolämpöä on myös niin huonosti saatavissa talven aikoihin, että toinen lämmitysjärjestelmä on mitoitettava rakennuksen koko lämmitystehon tarvetta vastaavaksi. (Seppänen, 2001)

2.3.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräin on auringonsäteilyä vastaanottava järjestelmä, joka muuttaa säteilyn lämmöksi ja siirtää sen lämmönkeruunesteeseen tai –kaasuun. Nesteinä käytetään yleensä vettä tai veden ja alkoholin sekoitusta riippuen jäätymiseneston tarpeesta. Kaasuna taas käytetään tavallisesti ilmaa. Ilman etuna nesteeseen verrattuna on se, että ilma ei aiheuta jäätymis- tai kiehumisongelmia. Lisäksi se ei aiheuta vuototilanteissa vahinkoa rakennukselle. Ilma kuitenkin soveltuu huonosti käyttöveden tai nestekiertoisen lämmitysjärjestelmän lämmönlähteeksi. (Eratym., 2008) Tämän vuoksi tässä työssä ei käsitellä ilmakeräimiä.

Tällä hetkellä suurin osa markkinoilla olevista aurinkokeräimistä on tasokeräimiksi luokiteltuja. Tasokeräimen perusrakennetta on havainnollistettu kuvassa 2.5. Tasokeräin koostuu absorptiomateriaalista tehdystä levystä, joka on laitettu lämpöeristettyyn koteloon. Kotelon aurinkoa vastaan jäävä taso on tavallisesti auringonsäteilyä hyvin läpäisevää lasia. Absorptiopinnan ja keräimen kotelon eristeen välissä kulkee lämmönkeruuputkisto. Hyvin eristetty tasokeräin voi saavuttaa jopa 60 °C ympäristön lämpötilaa korkeamman toimintalämpötilan, säilyttäen vielä kohtuullisen hyvän hyötysuhteen (Späteym., 2011).



Kuva 2.5. Tasokeräimen rakenne. (GREENoneTEC Solarindustrie GmbH, 2012)

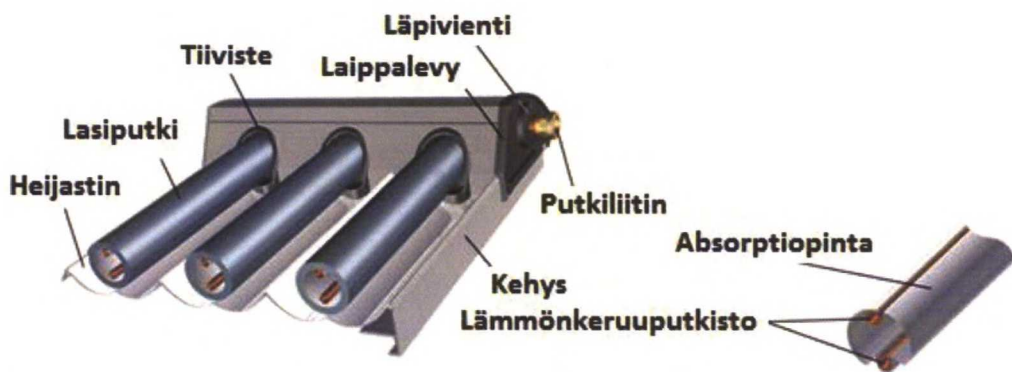
Tasokeräimen valinnassa tulee huomioida monia asioita. Esimerkiksi tasokeräimen absorptiomateriaalilta vaaditaan sekä kesän korkeiden lämpötilojen että talven pakkasten kestävyyttä. Tämän lisäksi absorptiomateriaalin tulee muuttaa mahdollisimman suuri osa auringonsäteilystä lämmöksi ja johtaa sitä hyvin lämmönkeruuputkistoon. Kotelon lasilta edellytetään säteilyn läpäisykyvyn lisäksi lämmön eristyskykyä, jotta absorptiomateriaalissa tapahtuvat lämpöhäviöt pysyisivät kerääjän sisällä. Lasin tulisi olla myös helposti puhdistettavissa. (Späte;ym., 2011)

Kerääjältä itseltään vaaditaan hyvän lämmöntuoton lisäksi keveyttä ja sopivaa kokoa asentamisen, huollon ja kuljettamisen helpottamiseksi. Tasokeräimien hinnat ovat tällä hetkellä 200-400 €/m². Hinnat ovat halventuneet aiemmasta tekniikan kehittymisen ja kilpailun lisääntymisen myötä. (Späte;ym., 2011)

Tasokeräimien keskeisimpänä ongelmana on niiden kasvavat lämpöhäviöt toimintalämpötilan noustessa. Syynä tähän on tasokeräimen sisällä olevan ilman liikkeen nopeutuminen. Ilman liikkeen nopeutuessa se sitoo entistä enemmän lämpöä absorptiopinnasta ja luovuttaa sitä lasipinnalle. Lasipinnasta lämpö siirtyy edelleen ympäristöön. (Erat;ym., 2008) Jos aurinkolämmöllä halutaan saavuttaa korkeampia lämpötiloja, tulee tällöin käyttää tyhjiöputkikeräimiä.

Kuvassa 2.6. on havainnollistettu tyhjiöputkikeräimen rakennetta. Tyhjiöputkikeräimessä absorptiopinta koostuu useista mahdollisesti putken muotoiseksi taitetuista metalliliuskoista, jotka on laitettu lasiputkien sisään. Lasiputkista on poistettu ilma lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Perinteisemmässä mallissa lämpö kerätään absorptiopinnasta lämmönkeruunesteeseen tyhjiöputkessa olevalla koaksiaali- tai U-putkella.

Lämpöputkikeräimessä lämpö siirretään absorptiopinnasta erillisen helposti kiehuvan nesteen, kuten alipaineistetun alkoholin tai veden, avulla. Neste sijaitsee absorptiopinnalla olevassa umpinaisessa putkessa. Neste sitoo lämpöä absorptiopinnasta höyrystyessään ja luovuttaa lämpöä aurinkolämpöjärjestelmän kiertonesteelle lauhtuessaan tyhjiöputken yläosassa. Lämpöputkikeräimen etuna perinteisempään malliin on se, että vaurioituneet tyhjiöputket voidaan vaihtaa yksitellen uusiin ilman koko järjestelmän pysäyttämistä ja tyhjentämistä. Heikkoutena on kuitenkin se, että lämpöputkikeräimen toiminta alkaa vasta sitten, kun keräin on saavuttanut tyhjiöputkessa olevan nesteen kiehumislämpötilan. (Späte;ym., 2011)



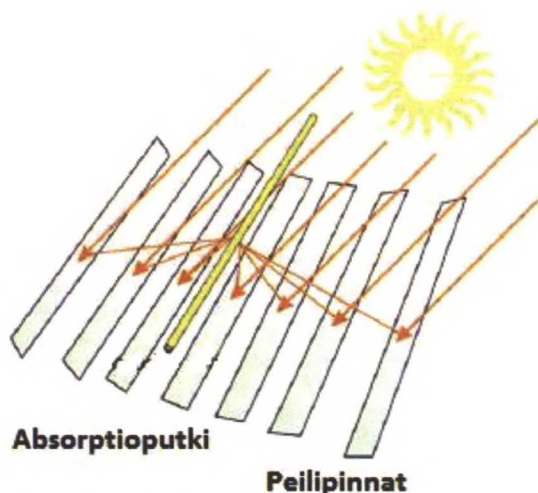
Kuva 2.6. Tyhjiöputkikeräimen rakenne. (GREENoneTEC Solarindustrie GmbH, 2012)

Vaikka tyhjiöputkikeräimillä olisikin tasokeräimiin verrattuna pienemmät lämpöhäviöt, ei se kuitenkaan tarkoita tyhjiöputkikeräimen olevan aina parempi vaihtoehto. Hyvin usein tasokeräimellä voidaan saada enemmän lämpöä kuin tyhjiöputkikeräimellä, jos keräinpinta-ala on sama (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2012). Syynä tyhjiöputkikeräimien huonompaan lämmöntuottoon on niiden rakenne. Putkimaisen rakenteen vuoksi absorptiopinta-ala jää hyvälläkin keräimellä helposti 70 % keräimen kokonaisalasta (Viessmann Werke GmbH&Co KG, 2011). Tyhjiöputkikeräimien hinnat vaihtelevat tavallisesti 400-800 €/m².

Edellisten lisäksi markkinoilla on saatavissa toisenlaisiin käyttötarkoituksiin kahta muutakin nestekiertoista aurinkokeräintä. Näitä ovat Uima-allaskeräimet ja keskittävät aurinkokeräimet. Uima-allaskeräimiä käytetään niiden matalasta toimintalämpötilasta johtuen pääasiassa uima-altaiden veden lämmitykseen tai osana lämpöpumppujärjestelmää.

Uima-allaskeräin on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen. Se koostuu ainoastaan absorptiomateriaalista tehdystä putkistosta tai kanavistosta. Eristeiden ja koteloinnin puuttumisen vuoksi uima-allaskeräimet ovat hyvin kevyitä ja edullisia. Hinnoiltaan uima-allaskeräimet ovat noin 50-100 €/m². Koteloinnin puuttuminen tosin edellyttää absorptiomateriaalilta korroosion ja vaihtelevien säiden kestävyyttä. Eristeiden puuttuminen taas lisää lämpöhäviöitä johtaen vain noin 20 °C ympäristön lämpötilaa korkeampaan toimintalämpötilaan. (Späte;ym., 2011)

Kuvassa 2.7 on havainnollistettu keskittävän aurinkokeräimen toimintaperiaate. Absorptioputkessa kiertää lämmönkeruuneste, useimmiten öljy, joka lämmitetään kohdistamalla putkenpintaan keräimeen osuvat auringonsäteet. Kuvassa kohdistaminen tehdään peilipinnan avulla, mutta toisena vaihtoehtona olisi keskittävä linssi. Linssien käyttöä rajoittaa kuitenkin niiden koko ja hinta. Keskittävän aurinkokeräimen lämmöntuottoon vaikuttaa merkittävästi peilipinnan tai linssin pinta-ala sekä keskityssuhde. Keskityssuhde on sitä parempi mitä suurempi osa peilipintaan osuneesta säteilystä heijastuu absorptioputkeen. Absorptioputki voi olla myös tyhjiöputken sisällä lämpöhäviöiden pienentämiseksi. (The German Solar Energy Society, 2007)



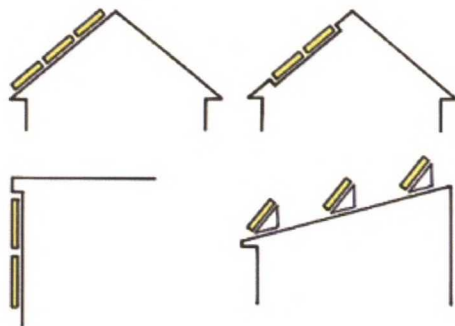
Kuva 2.7. Keskittävän aurinkopaneelin toimintaperiaate. (The German Solar Energy Society, 2007)

Keskittävien aurinkokeräimien toimintalämpötila voi olla jopa $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai korkeampi-kin käytettäessä auringon asemaa seuraavia järjestelmiä. Keskittävien aurinkokeräimien käyttöä rajoittaa kuitenkin se, että ne eivät voi hyödyntää hajasäteilyä. Näistä ominaisuuksista johtuen, keskittäviä aurinkokeräimiä käytetään pääasiassa teollisuuden ja energiantuotannon prosessilämmönlähteenä alueilla, joilla hajasäteilyn määrä auringon kokonaissäteilystä on pieni. (The German Solar Energy Society, 2007) Keskittävien aurinkokeräimien elinkaaren aikaisiksi hiilidioksidipäästöiksi on arvioitu 17 g/kWh (International Energy Agency, 2009). Hinnat taas riippuvat jonkin verran aurinkokeräimen toteutustavasta, mutta esimerkiksi parabolisen kourun muotoiset keräimet voivat maksaa noin 200 €/m^2 tai vähemmänkin (Pitz-Paal;ym., 2007).

2.3.2 Aurinkokeräimien sijoitus ja suuntaus

Aurinkokeräimen sijoituksella ja suuntauksella on erittäin suuri vaikutus sen lämmöntuottoon. Paras lämmöntuotto saadaan, kun aurinkokeräin on kohtisuorassa auringon nähden. Maan kiertoliike oman akselinsa ja auringon suhteen aiheuttaa kuitenkin sen, että auringon sijainti horisontissa vaihtelee. Aamuisin aurinko paistaa idästä ja iltaisin lännestä. Talvisin taas aurinko paistaa matalammalta kuin kesäisin. Tästä johtuen mahdollisimman suuri lämmöntuotto edellyttää aurinkokeräimien asentamista järjestelmään, joka seuraa auringon asemaa sekä muuttaa keräimien suuntausta ja kallistusta sen mukaan.

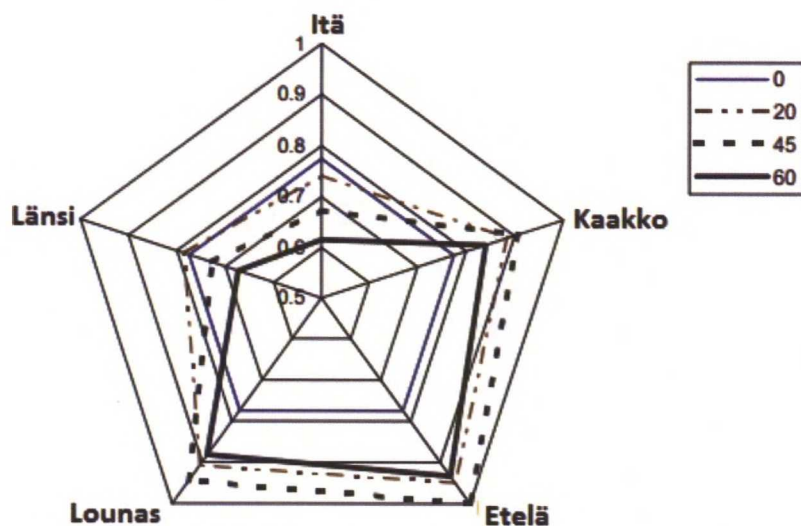
Tavallisesti aurinkokeräimille käytetään kuitenkin halvempaa ja toimintavarmempaa kiinteää asennusta. Tällöin aurinkokeräimet voidaan asentaa kuvan 2.8 mukaisesti joko erillisiin telineisiin tai suoraan rakennuksen ulkokuoren päälle tai osaksi sitä. Telineasennus on telineistä koituvan lisäkustannuksen lisäksi yleensä esteettisesti huonoin vaihtoehto. Telineasennus kuitenkin mahdollistaa nopeamman asennustyön sekä aurinkokeräimien suunta- ja kallistuskulman valitsemisen lämmöntuoton kannalta parhaimmalla tavalla. (Erat;ym., 2008)



Kuva 2.8. Aurinkokeräimien sijoitusvaihtoehtoja. (Rakennustieto Oy, 1992)

Mikäli aurinkokeräimet asennetaan kiinni rakennuksen ulkokuoreen tai osaksi sitä, määräytyy aurinkokeräimien suunta- ja kallistuskulma rakennuksen julkisivujen ja muiden pintojen suuntauksen mukaan. Jos tätä ei ole otettu huomioon jo rakennusta suunniteltaessa, on melko epätodennäköistä, että aurinkokeräimet saataisiin asennettua parhaimpaan mahdolliseen asentoon. Lisäksi esimerkiksi julkisivuille asennettuja aurinkokeräimiä voi olla hyvin vaikea huoltaa tai puhdistaa.

Kuvassa 2.9 on esitetty aurinkokeräimen suunta- ja kallistuskulman vaikutus sen lämmöntuottoon Suomen olosuhteissa. Kuvasta voidaan siis tulkita, että parhain kokonaislämmöntuotto on keräimellä, joka on suunnattu etelään ja kallistettu 45°-kulmaan. Mikäli aurinkokeräimen asentaa esimerkiksi 60°-kallistuskulmaan, laskee kokonaislämmöntuotto edelliseen tilanteeseen verrattuna noin 5 %. Suurempi kallistuskulma kuitenkin lisää aurinkolämmön tuotantoa keväällä, syksyllä ja talvella mahdollistaen myös suuremman keräinpinta-alan ilman kesäaikaista ylikuumenemisriskiä. Vastaavasti pienempi kallistuskulma lisää lämmöntuottoa kesällä ja vähentää sitä keväällä, syksyllä ja talvella. (Lund;ym., 2000)



Kuva 2.9. Aurinkokeräimen suunta- ja kallistuskulman vaikutus lämmöntuottoon. (Lund;ym., 2000)

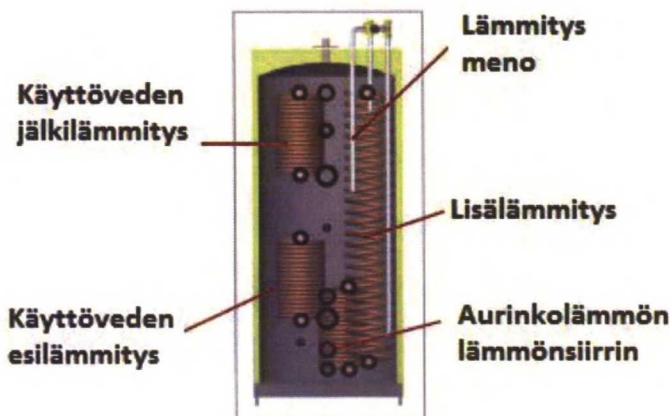
Jos aurinkokeräimet suunnataan etelän sijaan esimerkiksi kaakkoon, laskee kokonaislämmöntuotto noin 10 %. Vastaavasti keräimien suuntaaminen lounaaseen laskee

kokonaislämmöntuottoa noin 5 %. Etelästä poikkeavan suuntakulman valitseminen voi kuitenkin olla järkevää, jos halutaan painottaa lämmöntuotantoa aamu- tai iltatunneille (Lund;ym., 2000).

2.3.3 Varaajat

Koska aurinkolämmön tuotanto ja kiinteistön lämmönkulutus on harvoin samansuuruisia ja yhtäaikaista, on varaaja aurinkolämpöjärjestelmässä lähes välttämättömyys. Varaajan poisjättäminen voi kuitenkin olla kannattavaa esimerkiksi silloin, kun aurinkolämpöjärjestelmä mitoitetaan kattamaan lähinnä märkätilojen ympärivuotinen lattialämmitys.

Kuvassa 2.10 on havainnollistettu aurinkolämpöjärjestelmien yhteydessä esiintyvien varaajien rakennetta. Ulkoisilta muodoiltaan varaajat ovat yleensä sylinterin mallisia ja melko korkeita. Sylinterimäisyydellä pyritään minimoimaan ulkopinta-alaa lämpöhäviöiden pienentämiseksi ja korkeudella edesautetaan varaajassa olevan veden kerrostumista. Lämmönsiirto varaajaan ja pois varaajasta hoidetaan usein kuparisten kierukoiden avulla tai purkamalla ja lataamalla varaajaa suoraan. Kuvan tapauksessa vain lämmityspiirin vesi kiertää suoraan varaajassa ja muihin tarkoituksiin on oma kierukkansa.



Kuva 2.10. Aurinkolämpöjärjestelmän varaajan poikkileikkaus. (Aalto, 2010)

Kerrostuminen johtuu veden tiheyden pienenemisestä sen lämmitessä. Kun varaajaan tuodaan lämpöä, nousee lämmennyt vesi varaajan yläosaan kylmemmän ja tiheämmän veden päälle. Aurinkolämmön sekä rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmityksen kannalta veden kerrostuminen varaajassa on erittäin toivottavaa. Aurinkolämpöä nimittäin saadaan sitä enemmän talteen, mitä kylmempää vettä varaajan alaosassa on. Rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitys taas vaatii melko korkeita lämpötiloja. Kerrostumista saatetaankin edesauttaa varaajan korkeuden lisäämisen ohella erilaisten varaajaan asennettavien levyjen avulla. (Laughton, 2010)

Varaajan mitoittamisessa tulee ottaa huomioon lämmöntarpeen määrä ja profiili. Mikäli lämmöntarve on suurta tai ajankohdiltaan vaihtelevaa tulee tämä huomioida suuremmalla varaajalla. Mikäli varaajan hyödynnettävissä oleva lämpösisältö vastaa kullakin ajanhetkellä kyseistä lämmöntarvetta, on varaaja mitoitettu oikein. Alimi-

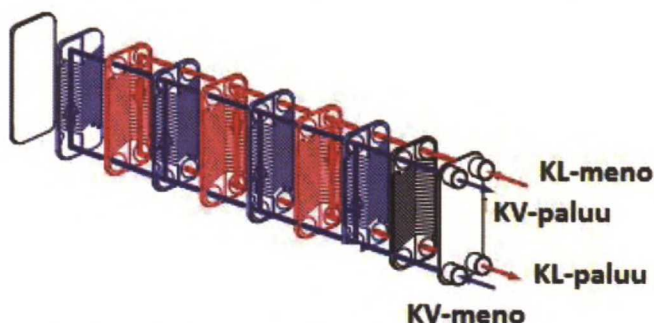
toittaminenkin on mahdollista, jos käytössä on varaajan ulkopuolinen lisälämmitys. Ylimitoittaminen taas johtaa suurempiin lämpöhäviöihin ja kalliimpaan varaajaan. Varaajat ovat hinnoiltaan 1 000-10 000 €/m³ riippuen hyvin paljon varaajan tilavuudesta. (Späte;ym., 2011)

2.3.4 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimeksi kutsutaan laitetta, joka siirtää lämpötilaeron kautta lämpöä ainevirrasta toiseen ilman ainevirtojen sekoittamista keskenään. Lämmönsiirtimien tarkoituksena on aikaansaada lämpötilan- tai olotilan muutoksia, kuten lämmittää tai lauhduttaa. (Lampinen;ym., 2005)

Lämmönsiirtimet voidaan jakaa toimintaperiaatteensa perusteella rekuperatiivisiin ja regeneratiivisiin lämmönsiirtimiin. Rekuperatiivisissa lämmönsiirtimissä lämpö siirtyy jatkuvasti kahden seinämällä erotetun ainevirran välillä. Regeneratiivisissa lämmönsiirtimissä lämpö siirtyy ainevirrasta toiseen saman lämpöä varaavan rakennelman kautta, jota vuoroin lämmitetään ja jäähdytetään. Regeneratiivisten lämmönsiirtimien rakenteen vuoksi niissä on usein vaikeaa välttää ainevirtojen välisiä vuotoja. Lämmitystekniikassa käytetään kuitenkin pääasiassa rekuperatiivisia lämmönsiirtimiä. (Seppänen, 2001)

Rekuperatiiviset lämmönsiirtimet voidaan edelleen jakaa virtaussuuntansa perusteella vasta-, myötä- ja ristivirtalämmönsiirtimiin. Vastavirtalämmönsiirtimissä ainevirrat kulkevat toisiinsa nähden vastakkaisiin suuntiin mahdollistaen lämmitettävän ainevirran poistumisen jäähtynyttä ainevirtaa kuumempana. Kuvassa 2.11 on esitetty kaukolämmön lämmönsiirrin, joka toimii vastavirtaperiaatteella.



Kuva 2.11. Kaukolämmön lämmönsiirtimen toimintaperiaate. (Danfoss, 2009)

Myötävirtalämmönsiirtimissä ainevirrat kulkevat samaan suuntaan, jolloin ainevirtojen lämpötilat lähestyvät toisiaan. Tämä johtaa yleensä huonompaan lämmönsiirtoon kuin vastaavalla vastavirtalämmönsiirtimellä. Ristivirtalämmönsiirtimessä ainevirrat kulkevat ristikkäisiin suuntiin, joka voi olla tietyissä sovelluksissa hyvä vaihtoehto. Teknisissä toteutuksissa lämmönsiirtimet ovat kuitenkin usein edellä mainittujen yhdistelmiä tai muunnelmia. (Lampinen;ym., 2005)

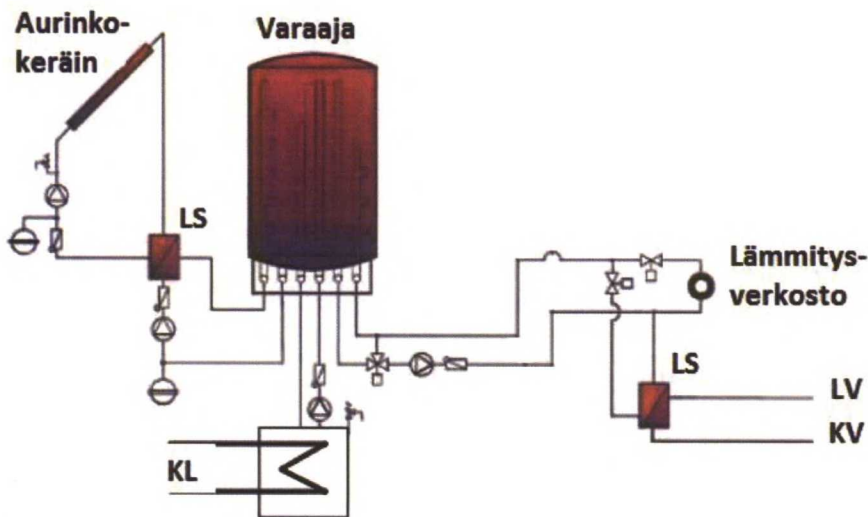
2.4 Kauko- ja aurinkolämpöjärjestelmien integrointi

Tällä hetkellä kauko- ja aurinkolämpöjärjestelmien integrointi on ollut Suomessa melko vähäistä. Integrointia on kokeiltu pääasiassa yksittäisissä kiinteistöissä sekä Eko-Viikin aurinkolämpöhankeessa. Toistaiseksi integroinnille ei ole myöskään mitään yleisesti hyväksyttyä tai ainoata mahdollista toteutustapaa vaan toteutus vaihtelee kohteittain.

Vaikka kauko- ja aurinkolämpöjärjestelmien integroinnin voisikin toteuttaa monin eri tavoin, päättää integroinnista aina viime kädessä kaukolämmön toimittaja. Kaukolämmön kuluttaja ei siis saa tehdä kaukolämpölaitteisiin mitään kytkentöjä ilman kaukolämmön toimittajan lupaa. Kaikki suunnitelmatkin tulee hyväksyttää ensin kaukolämmön toimittajalla. (Mälkiä;ym., 2010)

Mikäli siis harkitsee aurinkolämpöjärjestelmän liittämistä oman kiinteistön kaukolämpöjärjestelmän yhteyteen, kannattaa kysellä ensin toteutusvaihtoehtoja omalta kaukolämmöntoimittajalta. Kaikissa kaukolämpöyhtiöissä ei kuitenkaan vielä ole erillistä ohjeistusta integrointiin liittyen. Tällöin kannattaa tutustua aiempiin toteutuksiin tai energiayhtiöiden etujärjestöjen ehdottamiin toteutustapoihin.

Esimerkkinä etujärjestöjen ehdottamista toteutustavoista on Energiategollisuuden julkaisema kuvan 2.12 mukainen kytkentäperiaate, jossa hieman poikkeuksellisesti sekä aurinko- että kaukolämpöjärjestelmä on käytössä varaajan kautta. Kytkeä siis soveltuu hyvin kaukolämmön varastointiin, kun aurinkolämpöä ei ole saatavissa. Tätä voidaan pitää hyvänä vaihtoehtona, jos halutaan tasoittaa kaukolämmön kulutusta vuorokausitasolla.



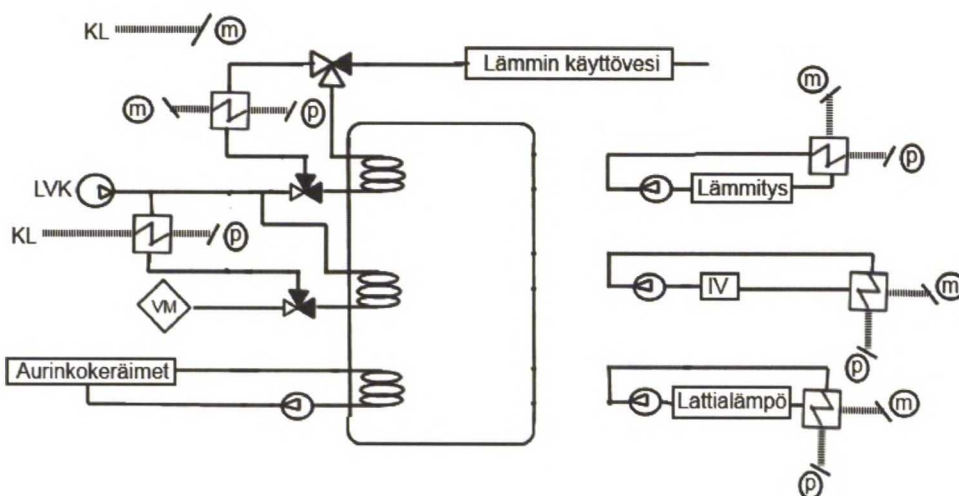
Kuva 2.12. Kauko- ja aurinkolämpöjärjestelmien integrointi kerrostavalla varaajalla. (Pöyry Finland Oy, 2011)

2.4.1 Kaukolämpöyhtiöiden kanta integrointiin

Helsingin Energialta on saatavissa kauko- ja aurinkolämpöjärjestelmien integrointiin sekä kytkentäkaavio että ehdot, jotka integroidun järjestelmän tulee täyttää, mikäli käytetään jotakin muuta kytkentäkaaviota. Helsingin Energian ehdottama kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 2.13. Integroinnille asetettuja ehtoja on yhteensä neljä kappaletta. (Takki, 2012)

1. Liian lämpimän käyttöveden pääsy vesipisteisiin tulee estää.
2. Aurinkolämpö tulee hyödyntää täysimääräisesti.
3. Integrointi ei saa nostaa kaukolämmön paluuveden lämpötilaa.
4. Integroinnin toteutus tulee olla mahdollisimman yksinkertainen.

Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan lämminvesijärjestelmän tulee olla sellainen, että henkilökohtaiseen puhtaanapitoon tarkoitetuista lämminvesikalusteista saatavan veden lämpötila ei saa olla korkeampi kuin 65 °C (Wallin;ym., 2007). Tästäkin määräyksestä johtuen, jokaisen integroidun lämmitysjärjestelmän tulee täyttää ensimmäinen ehto. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että aurinkolämpövaraajan ja vesipisteen välille lisätään mahdollisuus jäähdyttää varaajassa liian kuumaksi lämmennyt käyttövesi.



Kuva 2.13. Helsingin Energian kytkentäkaavioehdotus aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integroinniksi.

Aurinkolämmön täysimääräisellä hyödyntämisellä tarkoitetaan tässä tapauksessa aurinkolämmön käyttöä rakennuksen tilojen, käyttöveden sekä lämpimän veden kierroksen lämmitykseen. Ongelmana on kuitenkin se, että tämän ehdon toteuttaminen tekee kolmannen ehdon toteuttamisesta haastavampaa. Ristiriitatilanteissa aurinkolämmön täysimääräinen hyödyntäminen on kuitenkin ensisijaisena tavoitteena.

Integrointi ei saisi nostaa kaukolämmön paluuveden lämpötilaa, koska tällöin paluuveden lämpöhäviöt kasvavat. Paluuveden lämpötilan kasvusta aiheutunut lämpötilaeron pieneneminen edellyttää myös kaukolämpöveden virtauksen kasvattamista, mikäli kaukolämpövedestä halutaan edelleen sama määrä energiaa. Virtaaman kasvat-

taminen aiheuttaa kuitenkin energiayhtiölle suuremmat pumppauskustannukset. Edellisten lisäksi kaukolämmön paluuveden lämpötilan nousu aiheuttaa yhteistuotannossa sähköntuotannon hyötysuhteen huononemista. 1 °C:een kaukolämmön paluuveden lämpötilan nousu vähentää sähkön tuotantoa 0,2 % (Energiateollisuus ry, 2006).

Ongelmana aurinkolämmön hyödyntämisen ja kaukolämmön jäähdytyksen samanaikaisessa maksimoinnissa on yleensä se, että kaukolämmön loppujäähdytystä ei voida käyttää, kun aurinkolämpöä on saatavilla kylmän veden esilämmitykseen. Tästä johtuen kaukolämmön loppujäähdytystä edellytetäänkin vain silloin, kun aurinkolämpöä ei ole saatavilla. Loppujäähdytyksen lisäksi kaukolämmön jäähdytystä voidaan parantaa esimerkiksi rakennuksen tilojen matalalämpöisellä lämmitysjärjestelmällä tai sulanapitojärjestelmällä. Sulanapitojärjestelmä on hyvä tapa lisätä kaukolämpöveden jäähdytystä aurinkoisina talvipäivinä. Tällä hetkellä Helsingin Energia edellyttää sopimuksissaan vähintään 25 °C keskimääräistä jäähtymää jokaisena laskutuskautena (Takki, 2012).

Integroinnin toteutuksen tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen, jotta järjestelmä olisi mahdollisimman helppo huoltaa ja asentaa. Lämmitysjärjestelmä on yleensä myös sitä toimintavarmempi, mitä vähemmän siinä on liikkuvia tai sähköä tarvitsevia osia. Tärkeysjärjestyksessä ylempänä olevat vaatimukset edellyttävät järjestelmältä kuitenkin melko paljon toiminnallisuutta, joka johtaa helposti integroinnin monimutkaiseen toteutukseen.

Vantaan Energialla ei vielä ollut aurinko- ja kaukolämmön integroinnille erillisiä sopimusehtoja, koska Vantaan Energian alueella on integrointi toteutettu vasta yhdessä omakotitalokohteessa. Tällä hetkellä integroidun järjestelmän tulee siis täyttää vain nykyiset pelkälle kaukolämpöjärjestelmälle asetetut sopimusehdot. (Kortelainen, 2012)

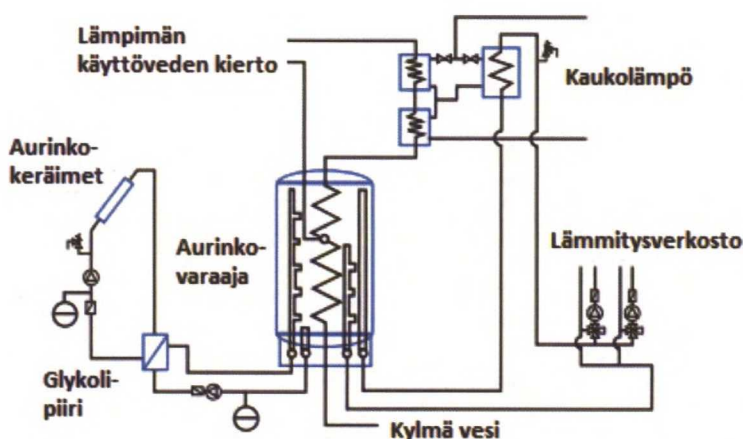
Keskeisimpinä ehtoina voidaan mainita Helsingin Energiallakin vaadittu kaukolämmön epäsuorakytkentä ja riittävän jäähtymän toteutuminen. Riittävänä jäähtymänä sopimusehdoissa pidettiin Helsingin Energian tavoin 25 °C keskimääräistä jäähtymää kutakin laskutuskautta kohden. Lisäksi kaukolämmön paluuveden lämpötila ei saa olla korkeampi kuin 65 °C. (Vantaan Energia, 2011)

Yhteenvedona voidaan sanoa, että molemmat energiayhtiöt suhtautuivat tiettyjen ehtojen toteutuessa hyvinkin positiivisesti aurinko- ja kaukolämmön integrointiin. Toistaiseksi ylimääräisen aurinkolämmön myymistä tai siirtämistä kaukolämpöverkkoon ei kuitenkaan pidetty mahdollisena. Syyksi mainittiin kaukolämmön suuri yhteistuotannon osuus sekä olematon tarve ylimääräiselle lämmölle. (Kortelainen, 2012) (Takki, 2012)

2.4.2 Aikaisemmat toteutukset

Tällä hetkellä Suomen suurin aurinkolämpöhanke on toteutettu Eko-Viikissä. Hanke koostui kahdeksasta kerrostaloon asennetusta aurinkolämpöjärjestelmästä, joiden yhteen laskettu keräinala on 1 248 m². Kaikissa kohteissa aurinkokeräimet on asennettu katolle ja suunnattu etelään vaihtelevin kallistuskulmin.

Kaikissa kahdeksassa kohteessa hyödynnettiin aurinkolämpöä käyttöveden esilämmitykseen. Osassa kohteista aurinkolämpöä hyödynnettiin kuvan 2.14 mukaisesti myös lattialämmitykseen ja käyttöveden kierron lämmitykseen, jos aurinkovaraajan lämpötila oli korkeampi kuin kierron tai lattialämmityksen paluulämpötila. Lisäksi kaikissa kohteissa oli päälämmitysmuotona Helsingin Energian kaukolämpö. (SOLPROS, 2004)



Kuva 2.14. Aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmän kytkentäkaavio Eko-Viikissä. (SOLPROS, 2004)

Kaikissa Eko-Viikin kiinteistöissä, joissa aurinkolämpöjärjestelmää ei ollut kytketty pois käytöstä, saatiin kaukolämmön kulutusta vähennettyä. Hyödyksi saadun aurinkolämmön määrä vaihteli kuitenkin hyvin paljon riippuen kiinteistönhoidon tasosta. Mikäli kiinteistönhoitajilla ei ollut riittävää tietämystä järjestelmän toiminnasta ja käytöstä, näkyi tämä aurinkolämpöjärjestelmän tehottomana toimintana. Esimerkiksi talven ajaksi pois aurinkolämpöjärjestelmästä kytketyt lattialämmityspiirit saattoivat jäädä kesäksikin vain kaukolämmitykseen. Johtuen osin integroinnin monimutkaisuudesta toteutuksista ja osin järjestelmien huonosta ylläpidosta, suurimmat säästöt saatiinkin Eko-Viikissä aikaan mahdollisimman yksinkertaisilla järjestelmillä. (Johansson, 2009)

Edellä esitetyn kohdalla tulee kuitenkin huomata, että yksikään Eko-Viikin kytkennöistä ei enää täytä Helsingin Energian aurinko- ja kaukolämmön integroinnille asettamia vaatimuksia. Vaikka käytännössä tehokkainta olisikin hyödyntää aurinkolämpöä pelkästään kylmän veden esilämmittämiseen, tulee nykyään aurinkolämpöä käyttää myös lattialämmitykseen ja lämpimän veden kierron lämmitykseen. Lisäksi lämpimän veden kierto tulee sekoittaa kylmään veteen vasta kaukolämmön ensimmäisen lämmönsiirtimen jälkeen, kun aurinkolämpöä ei ole saatavissa.

2.4.3 Aurinkolämmön vaikutus kaukolämmön päästöihin

Mikäli halutaan saada selville aurinko- ja kaukolämmön integroinnista koituva todellinen ympäristövaikutus, ei voida vain tarkastella kaukolämmön keskimääräisiä päästöjä ja auringosta hyödyksi saadun lämpöenergian määrää. Todellista ympäristövaikutusta selvitetessä tulee ottaa huomioon muun muassa aurinkolämmön tuotannon keskittyminen kesäaikaan, aurinkolämmön vaikutukset yhteistuotantoon sekä aurinkovaraajan hyödyntäminen kaukolämmön varastoinnissa.

Kesäaikaan kaukolämmön kulutus on usein verrattain pientä, minkä takia osa energialaitoksista voi tuottaa kaukolämpöä hyvinkin eri tavalla verrattuna kylmempiin aikoihin tai keskimääräiseen tuotantoon. Esimerkiksi Vantaan Energia tulee uuden jätevoimalan valmistuttua käyttäneeksi kesäaikana kaukolämmön tuotannon polttoaineena pääasiassa vain jätettä (Kortelainen, 2012). Tästä johtuen, tulisi ennen ympäristövaikutuksen laskemista selvittää kaukolämmön päästöt ja tuotantotapa eri ajan-kohtina ja verrata niitä tuotetun aurinkolämmön ajankohtiin.

Vaikka yhden kiinteistön aurinkolämpöjärjestelmän vaikutus olisikin koko kaukolämpöverkossa lähes mitätön, on aurinkolämmön vaikutus kaukolämmön tuotantoon otettava huomioon integroitujen järjestelmien yleistyessä. Keskeisin ja jo käytännössäkin todettu ongelma on kaukolämmön paluuveden lämpötilan jääminen tavallista korkeammaksi. Mikäli energialaitoksella ei ole mahdollisuutta tai tapana jäähdyttää kaukolämmön paluuvettä sen jäädessä normaalia kuumemmaksi, seuraa siitä yhteistuotannossa sähkön tuotannon heikentymistä. Tämä taas vähentää aurinkolämmöllä saatua positiivista ympäristövaikutusta.

Edellä mainittujen lisäksi kaukolämmön päästöihin voi vaikuttaa varastoimalla kaukolämpöä. Esimerkiksi talvisin, kun aurinkolämpöä ei ole saatavissa, voidaan aurinkovaraajaa käyttää kaukolämmön varastointiin. Näin voitaisiin tasoittaa kaukolämmön kulutuksen piikkejä varaamalla kaukolämpöä öisin ja purkamalla varaajaa aamuisin. Tasaisempi kaukolämmön kulutusprofiili mahdollistaisi erityisesti huippukulutuskautena yhteistuotannon osuuden kasvattamisen sekä huippu- ja varavoiman osuuden pienentämisen. Varastoinnilla olisi siis positiivinen ympäristövaikutus huippukulutuskautena, varsinkin kun osa vara- ja huippuvoimaloista käyttää energianlähteenään polttoöljyä. Muina aikoina, kun energiayhtiöt pystyvät hoitamaan kulutusvaihtelut omilla lämpöakuillaan, ei ole tarvetta kaukolämmön varastoinnille aurinkovaraajaan.

3 Integroinnin toteutus

3.1 Toteutuksen kohde

Integroinnin simulointi toteutetaan TRNSYS 17-simulointiohjelmaa hyödyntäen. Simuloinnin kohteena käytetään kahta NCC:n mallirakennusta. Toinen kohteista on rakenteeltaan pistemäinen ja toinen pitkänomainen lamellitalo. Näihin rakennuksiin on pyritty keräämään vakioratkaisuja ja niitä on tarkoitus rakentaa useampia ympäri Suomea ja Ruotsia. Toteutuksen kohteiden valinnassa on muun muassa otettu huomioon, että samanlaisilla rakennuksilla on esimerkiksi mahdollista päästä vertailemaan eri lämmitysmuotoja keskenään.

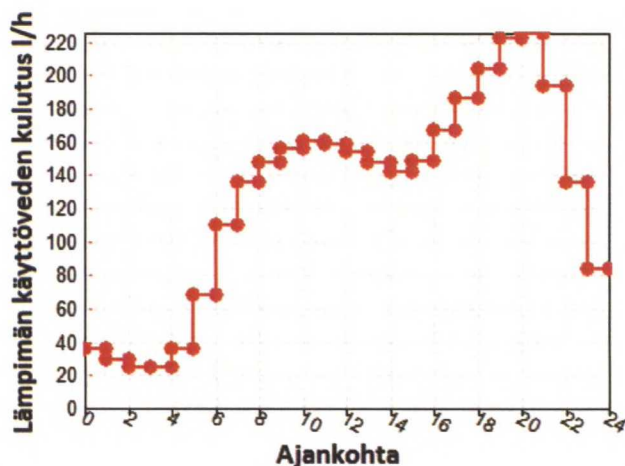
Yhteistä molemmille rakennuksille on se, että molempien rakennusten sijaintipaikkakunnaksi on valittu tässä työssä Vantaa, simuloinneissa käytettävissä olevista sää-tiedoista johtuen. Lämpimän käyttöveden kulutus on mitoitettu molempien asuinrakennusten kohdalla Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti saaden kulutukseksi 50 (l/vrk)/asukas. Lämpimän käyttöveden alkulämpötilaksi on valittu 10 °C ja loppulämpötilaksi 58 °C (Tiitinen, 2007).

Molempien asuintalojen ilmanvaihtojärjestelmäksi on valittu tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla ja vesikiertoisella jälkilämmityspatterilla varustettuna. Lämmöntalteenottolaitteena toimii vastavirtalämmönsiirrin, jonka hyötysuhde on 60 %.

3.1.1 Pistetalo

Pistetalon pohja- ja peruskerrosten pohjapiirrokset on esitelty liitteessä 3. Pistetalo on 6-kerroksinen asuinrakennus, jossa on 31 kaksiota. Rakennuksen bruttopinta-ala on noin 2 100 m².

Pistetaloon suunnitellun 62 asukkaan yhteenlaskettu lämpimän käyttöveden kulutus on 3 100 l/vrk. Kuvassa 3.1 on esitetty koko rakennuksen lämpimän käyttöveden kulutuksen jakautuminen vuorokauden eri ajankohdille normaalipäivänä. Jakaumassa on painotettu enemmän arkipäivien kuin viikonlopun kulutusta. Kyseistä kulutusjakautumaa on myös käytetty simuloinneissa. Lämpimän käyttöveden kierron suuruudeksi on arvioitu 40 % lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamasta eli 0,24 l/s. (Tiitinen, 2007)



Kuva 3.1. Pistetalon lämpimän käyttöveden kulutuksen jakautuminen vuorokaudessa. (Toura, 2009)

Pistetalon lämmitystehon tarve on laskettu sisä- ja ulkolämpötilojen sekä rakennuksen lämmönjohtavuuden avulla lämpökuormat kuitenkin huomioiden. Lämmönjohtavuus on laskettu pistetalon ulkokuoren rakenteiden U-arvojen ja niiden pinta-alojen perusteella saaden lämmönjohtavuudeksi 290 W/K. Eri rakenteiden U-arvot on esitetty taulukossa 3.1. Keskimääräisenä sisälämpötilana on käytetty 20,5 °C, joka on laskettu eri tilojen mitoituslämpötilojen ja niiden tilavuuksien perusteella. Sisäiseksi lämpökuormiksi saatiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 avulla 10 570 W, kun otettiin huomioon sähkölaitteista ja asukkaista hyödyksi saatavat lämpökuormat.

Taulukko 3.1. Rakennuksen ulkokuoren rakenteiden U-arvot. (Vapaavuori;ym., 2010)

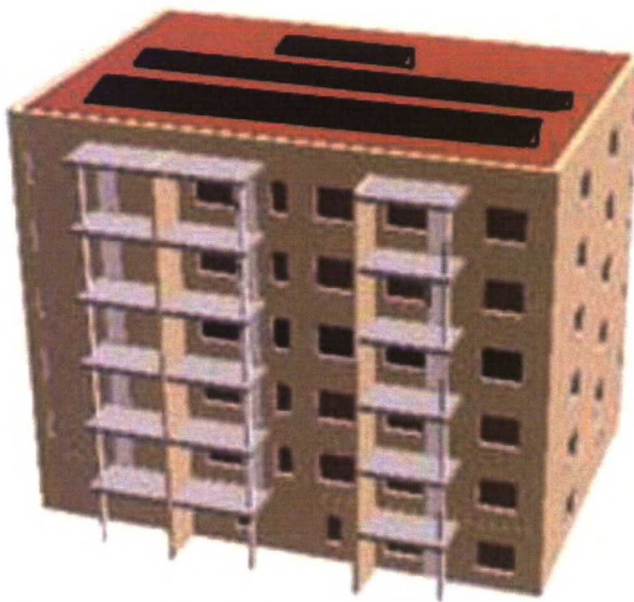
Rakenne	U-arvo (W/m ² K)
Ulkoseinä	0,17
Yläpohja	0,09
Maanvarainen alapohja	0,16
Ikkuna	1,00
Ulko-ovi	1,00

Märkätilojen ympärivuotiseen lämmitykseen tarkoitettu vesikiertoinen mukavuuslattialämmitys on asennettu kylpyhuoneisiin sekä saunatiloihin. Yhteensä lattialämmittävää pinta-alaa on pistetalossa noin 190 m². Lattialämmityspiirin menolämpötilaksi on valittu 35 °C ja paluulämpötilaksi 25 °C. Lattialämmityksen mitoitusvahvuus on valittu 30 W/m² (Saari;ym., 2010), jolloin lattialämmityksen mitoitusvirtaamaksi saadaan 0,136 l/s.

Pistetalon ilmanvaihtojärjestelmän tuloilmavirta on 1 240 l/s ja poistoilmavirta 1 490 l/s. Rakennuksen vuotoilmavirraksi on saatu 60 l/s. Ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaksi on valittu 15 °C.

Pistetalon aurinkokeräimien malliksi on valittu Sonnenkraft SK500N. Aurinkokeräimet on päätetty sijoittaa katolle kuvan 3.2 mukaisesti kolmeen perättäiseen riviin.

Kahdessa pidemmässä rivissä on 15 aurinkokeräintä ja lyhyemmässä rivissä 5 aurinkokeräintä. Lyhyempi rivi asennetaan ilmanvaihtokonehuoneen katolle, joka kuvasta kuitenkin puuttuu. Aurinkokeräimet asennetaan telineisiin 45° -kallistuskulmaan ja niiden putkitus toteutetaan siten, että katolla on seitsemän viiden aurinkokeräimen sarjaa rinnakkain. Aurinkokeräimien yhteenlaskettu kokonaispinta-ala on noin 90 m^2 .



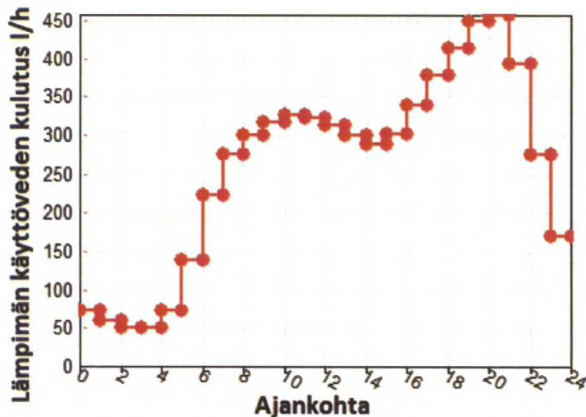
Kuva 3.2. Pistetalon aurinkokeräimien sijoittelu.

Pistetalon aurinkolämpövaraaja on yhden varaajan kytkennässä tilavuudeltaan $4,5 \text{ m}^3$ ja sylinterin muotoinen. Varaajassa on siis tilavuutta $0,05 \text{ m}^3$ jokaista keräinalan neliometriä kohden. Varaaja on myös kuusikerroksinen ja $1,8 \text{ m}$ korkea. Varaajasta otettavat virtaamat ovat suuruudeltaan 80% lämmitettävien virtaamien maksimivirtaamasta. Kahden varaajan kytkennässä molemmat aurinkolämpövaraajat ovat tilavuudeltaan $2,25 \text{ m}^3$.

3.1.2 Lamellitalo

Lamellitalon pohja- ja peruserrosten pohjapiirrokset on esitelty liitteessä 4. Lamellitalo on 8-kerroksinen asuinrakennus, jossa on 59 erikokoista huoneistoa. Rakennuksen bruttopinta-ala on noin $4\,400 \text{ m}^2$. Koko rakennuksen suunniteltu asukaslukumäärä on 126 henkilöä.

Lamellitalon kaikkien asukkaiden lämpimän käyttöveden kulutus on $6\,300 \text{ l/vrk}$. Kuvassa 3.3 on esitetty koko rakennuksen lämpimän käyttöveden kulutuksen jakautuminen vuorokauden eri ajankohdille normaalipäivänä. Lämpimän käyttöveden kierron suuruudeksi on arvioitu pistetalon tavoin 40% lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamasta eli $0,57 \text{ l/s}$.



Kuva 3.3. Lamellitalon lämpimän käyttöveden kulutuksen jakautuminen vuorokaudessa. (Toura, 2009)

Lamellitalon lämmityksen tarve on mallinnettu samoin kuin pistetalon kohdalla on tehty. Lamellitalon lämmönjohtavuudeksi on saatu eri rakenteiden pinta-alojen ja U-arvojen avulla 978 W/K. Sisäiseksi lämpökuormiksi saatiin 21 170 W, joka on hyödyksi saatu lämpökuorma, kun otettiin huomioon sähkölaitteista ja asukkaista saatavat lämpökuormat. Keskimääräiseksi sisälämpötilaksi saatiin 20 °C.

Lamellitalossa on pistetalon tavoin märkätilojen ympärivuotiseen lämmitykseen tarkoitettu vesikiertoinen mukavuuslattialämmitys. Yhteensä lattialämmitettävää pinta-alaa on lamellitalossa noin 300 m². Kun mitoitustehona on 30 W/m², saadaan lattialämmityspiirin mitoitusvirtaamaksi 0,215 l/s.

Lamellitalon ilmanvaihtojärjestelmän tuloilmavirta on 1 850 l/s ja poistoilmavirta on 2 230 l/s. Rakennuksen vuotoilmavirraksi on saatu 107 l/s. Ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaksi on valittu 15 °C

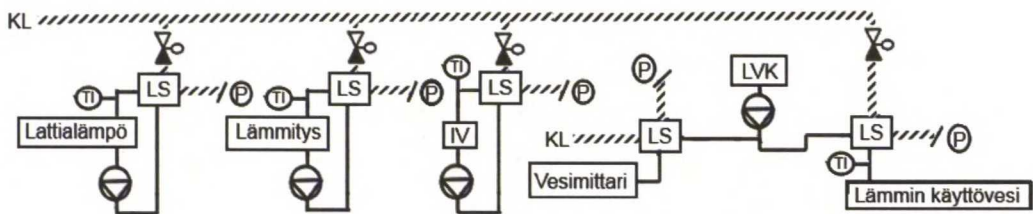
Lamellitalon aurinkokeräimien malliksi on valittu pistetalon tavoin Sonnenkraft SK500N. Aurinkokeräimet on päätetty sijoittaa, liitteen 5 mukaisesti, katolle yhdeksään viidestä aurinkokeräimestä koostuvaan riviin. Aurinkokeräimet asennetaan telineisiin 45°-kallistuskulmaan ja niiden putkitus toteutetaan siten, että yhdeksän viiden aurinkokeräimen sarjaa on rinnakkain. Aurinkokeräimien yhteenlaskettu kokonaispinta-ala on noin 115 m².

Lamellitalon aurinkolämpövaraajat ovat pistetalon varaajien tavoin sylinterin muotoisia, kuusikerroksisia ja 1,8 m korkeita. Yhden varaajan kytkennässä varaaja on tilavuudeltaan 5,8 m³, kun tilavuus on mitoitettu samoin kuin pistetalon kohdalla on tehty. Varaajasta otettavat virtaamat ovat lattialämmityksen, ilmanvaihdon ja tilojen lämmityksen kohdalla 50 % lämmityspiirin virran maksimivirtaamasta. Lämpimän käyttöveden kohdalla molemmat varaajasta otettavat virtaamat ovat 80 % lämmitettävän käyttöveden maksimivirtaamasta. Kahden varaajan kytkennässä molemmat varaajat ovat tilavuudeltaan 2,9 m³.

3.2 Tarkasteltavat kytkentävaihtoehdot

3.2.1 Kaukolämpökytkennät

Ensimmäisenä tarkasteltavana kytkentävaihtoehtona on liitteeseen 2 pohjautuva ja kuvassa 3.4 esitetty kaukolämmön peruskytkentä, johon muita tarkasteltavia vaihtoehtoja verrataan. Kuten kuvasta nähdään, on piste- ja lamellitalon kaukolämmön peruskytkennässä käyttöveden lämmityksen lisäksi kolme muuta lämmityspiiriä. Muut kolme lämmityspiiriä on tarkoitettu lattialämmityspiiriin, ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin ja tilojen lämmityspiiriin kiertoveden lämmitykseen. Syy siihen, minkä takia kaikille kolmelle lämmityskohteelle on oma kieropiirinsä, on se, että tällöin esimerkiksi ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterille tehtävät huoltotoimenpiteet eivät vaikuta lattialämmityksen toimintaan.



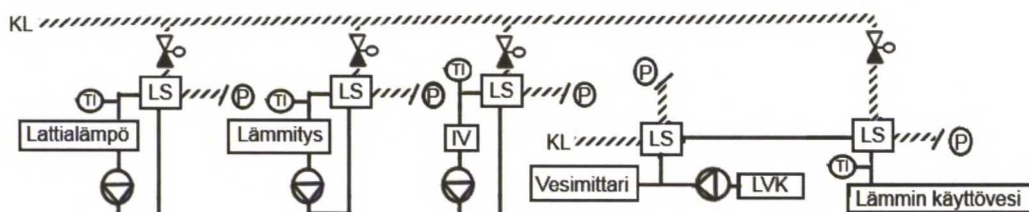
Kuva 3.4. Piste- ja lamellitalon kaukolämmön peruskytkentä.

Kaukolämpöveden kierto on toteutettu kaukolämmön peruskytkennässä siten, että kaukolämpöveden tulopuolelta on suora yhteys säätöventtiiliin kautta kaikkiin muihin kaukolämmönsiirtimiin paitsi käyttöveden ensimmäiseen lämmönsiirtimeen. Käyttöveden ensimmäinen lämmönsiirrin saa nimittäin kaukolämpövetensä kaikilta muilta lämmönsiirtimiltä. Näin saadaan maksimoitua kaukolämpöveden jäähtymä.

Kaukolämpökytkennän säätö on toteutettu yleensä siten, että lämmityspiirien nestevirran suuruus pysyy vakiona ja ainoastaan menolämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Kun ulkona on kylmempää, nostetaan lämmityspiiriin menolämpötilaa. Menolämpötilan nostaminen taas onnistuu kasvattamalla lämmönsiirtimeen kautta kulkevaa kaukolämpöveden virtaamaa. Käyttöveden menolämpötila pidetään kuitenkin aina samana ja kaukolämpöveden virtaamaa säädetään ainoastaan lämpimän käyttöveden kulutuksen mukaan.

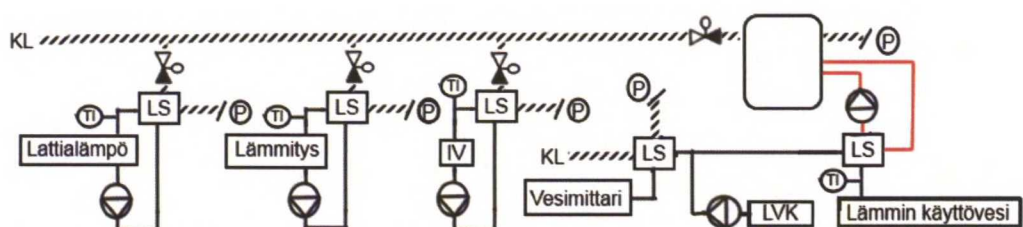
Toinen tarkasteltava kytkentävaihtoehto on kuvan 3.5 mukainen. Toinen kytkentävaihtoehto on rakenteeltaan ja säätöperiaatteeltaan muuten samanlainen kuin ensimmäinen, mutta toisessa kytkennässä lämpimän käyttövedenkierto sekoitetaan kylmään käyttöveteen ennen ensimmäistä kaukolämmön lämmönsiirrintä.

Kytkenällä on tarkoitus havainnollistaa, minkä takia osa Eko-Viikissä käytössä olevista kauko- ja aurinkolämmön integroiduista kytkennöistä ei enää täytä Helsingin Energian vaatimuksia. Eko-Viikin kytkennöissä on nimittäin lämpimän käyttöveden kierto yhdistetty kylmään käyttöveteen aurinkolämpövaraajan jälkeen, mutta kuitenkin ennen ensimmäistä kaukolämmönsiirrintä. Tällöin Eko-Viikin integroitu kytkentä toimii kuvan 3.5 kytkennän tavoin, kun aurinkolämpöä ei ole saatavissa.



Kuva 3.5. Piste- ja lamellitalon lämpimän käyttöveden kierron ja kylmän käyttöveden esisekoituksella varustettu kaukolämpökytkentä.

Kolmannessa ja kuvan 3.6 mukaisessa kytkennässä tarkastellaan kaukolämmön varastoinnin vaikutusta kaukolämmön kulutukseen, kulutusprofiiliin, virtaamaan ja paluulämpötilaan. Kytkennällä on tarkoitus selvittää, onko kaukolämmön kiinteistökohtainen varastointi ympäristön kannalta järkevää. Lisäksi tarkoituksena on selvittää kaukolämmön varastoinnin taloudellisuus, mikäli kaukolämmön laskutuksessa siirrytään tulevaisuudessa tuntikohtaiseen laskutukseen.



Kuva 3.6. Piste- ja lamellitalon lämpimän käyttöveden jälkilämmitykseen tarkoitettulla varaajalla varustettu kaukolämpökytkentä.

Varastoinnin osalta on päätetty keskittyä lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittavan kaukolämmön varastointiin. Tämä siksi, että muiden lämmitystä vaativien kohteiden tehontarve on vuorokauden sisällä lähes vakio. Lisäksi lämpimän käyttöveden kulutus on hyvin todennäköisesti suurimmillaan, kun kaukolämmön hinta olisi suurimmillaan.

Kuvan 3.6 varaava kytkentä eroaa kaukolämmön peruskytkennästä ainoastaan varaajan ja varaajaa purkavan kiertopiirin osalta. Kiertopiiri on esitetty kuvassa punaisiin viivoin. Kiertopiirin pumpun virtaamaa säädetään lämpimän käyttöveden kulutuksen mukaan, siten että varaajasta otettava nestevirta on yhtä suuri kuin käyttöveden virtaama.

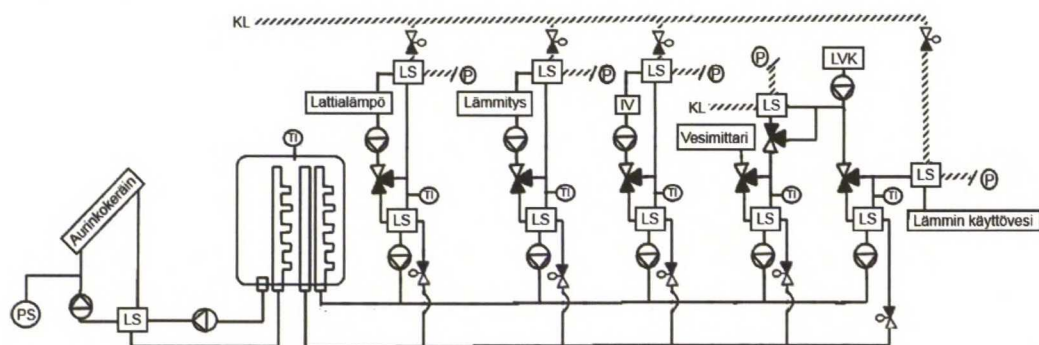
Varaajan lataaminen kaukolämpövedellä on toteutettu käyttämällä vakion suuruista nestevirtaa aina, kun kaukolämmön kulutus on keskimääräistä pienempää. Kaukolämpöveden virtaaman suuruus on valittu siten, että varaajan lämpötila pysyy ympäri vuoden riittävän korkealla pitääkseen lämpimän käyttöveden lämpötilan asetusarvossaan. Varaajaa lämmittävä kaukolämpövirta yhdistetään peruskytkennän tavoin muuhun kaukolämpövirtaan ennen ensimmäistä lämpimän käyttöveden lämmönsiirintä.

Kiinteistökohtainen varastointi tulisi kuitenkin kyseeseen vain talvisin, jolloin osa kaukolämpöyhtiöistä ei käytä omia lämpövarastojaan suurien lämpöhäviöiden vuoksi. Talvisin kaukolämmön varastoinnissa voitaisiin myös hyödyntää aurinkolämpö-

järjestelmän yhteydessä olevaa varaajaa, kun aurinkolämpöä ei ole saatavissa. Näin erillistä kaukolämmön varastointiin tarkoitettua varaajaa ei tarvittaisi.

3.2.2 Integroidut kytkennät

Kuvassa 3.7 on esitetty yhdellä varaajalla varustetun kauko- ja aurinkolämmön integroidun kytkennän kytkentäkaavio. Kytkentä mahdollistaa aurinkolämmön käytön ilmanvaihtoilman, tilojen, kosteiden tilojen lattian ja käyttöveden lämmitykseen. Kaikkiin lämmitystä vaativiin kohteisiin, kuten käyttöveden jälkilämmitykseen, ei kuitenkaan välttämättä kannata lisätä mahdollisuutta aurinkolämmön käyttöön, mikäli aurinkolämpöä ei saada riittävästi tai varaajan lämpötila nouse riittävän korkealle.



Kuva 3.7. Piste- ja lamellitalon yhdellä varaajalla varustetun integroidun kytkennän kytkentäkaavio.

Aurinkolämmön talteenotto on päätetty toteuttaa integroidussa kytkennässä siten, että aurinkokeräimissä kiertävä ja jäätyminenestolla varustettu kiertovesi ei kulje suoraan varaajassa. Aurinkokeräinpiiristä lämpö siirretään varaajaan ottamalla pumpulla kylmää vettä varaajan alaosasta ja palauttamalla lämmönsiirtimessä lämmennyt vesi kerrostavasti takaisin varaajaan. Tällä tavoin varaajassa olevaa vettä voidaan myös käyttää suoraan lämpimän käyttöveden valmistukseen.

Aurinkokeräinpiirin pumppu käynnistetään, kun aurinkokeräimistä saatavan nesteen lämpötila ylittää varaajan alaosassa olevan nesteen lämpötilan. Kyseinen pumppu vastaavasti pysäytetään, jos varaajan alaosassa olevan nesteen lämpötila ylittää aurinkokeräimistä saatavan nesteen lämpötilan tai varaajan yläosassa olevan nesteen lämpötila saavuttaa lämpötilan 80 °C.

Silloin, kun aurinkolämpöä ei ole käytettävissä, kytkentä toimii tavanomaisen kaukolämpökytkennän tavoin, tosin edellisessä luvussa kuvatulla hieman poikkeavalla säätötavalla. Tällöin esimerkiksi lattialämmityspiirin kiertovesi ei kulje aurinkolämmönsiirtimen kautta, vaan menee suoraan kaukolämmönsiirtimelle. Siirtimelle otetaan venttiilin kautta kaukolämpövedtä tarvittava määrä ja tämän jälkeen kaukolämpövesi palautetaan kaukolämpöverkkoon ensimmäisen käyttöveden lämmönsiirtimen kautta.

Mikäli varaajan yläosassa olevan veden lämpötila on riittävän korkea lämmittämään esimerkiksi edellä mainittua lattialämmityspiirin kiertovettä, ohjaa venttiili kiertoveden aurinkolämmönsiirtimelle ja lattialämmityspiirin aurinkolämpöpumppu käynnis-

tyy. Lattialämmityspiirin kiertovesi kulkee aurinkolämmönsiirtimen jälkeen vielä kaukolämmönsiirtimen kautta, mutta venttiilin kautta ei oteta kaukolämpövettä, mikäli lämmitystarvetta ei enää ole.

Liitteessä 6 on esitetty kahdella varaajalla varustetun integroidun kytkennän kytkentäkaavio. Kytkennän toiminta eroaa yhden varaajan kytkennästä siten, että lämmityskohteista palaavaa aurinkolämpövettä ei palauteta samaan varaajaan, josta aurinkolämpövesi on otettu. Sääötapa on kuitenkin täysin samanlainen, kuin mitä yhden varaajan integroidussa kytkennässä on.

Aurinkokeräimiltä tuleva kuuma vesi taas johdetaan ensimmäiseksi varaajaan, josta aurinkolämpöä otetaan käyttöön. Tämän jälkeen saman varaajan alaosa otetaan kylmempää vettä toiseen varaajaan tulevien paluuviesien lämmittämiseen. Viimeiseksi kylmemmän varaajan alaosa otetaan kylmintä mahdollista vettä aurinkokeräimien lämmitettäväksi. Jotta molempien varaajien virtaamat saadaan vielä tasapainoon, otetaan kylmemmän varaajan yläosasta vettä kuumempaan varaajaan.

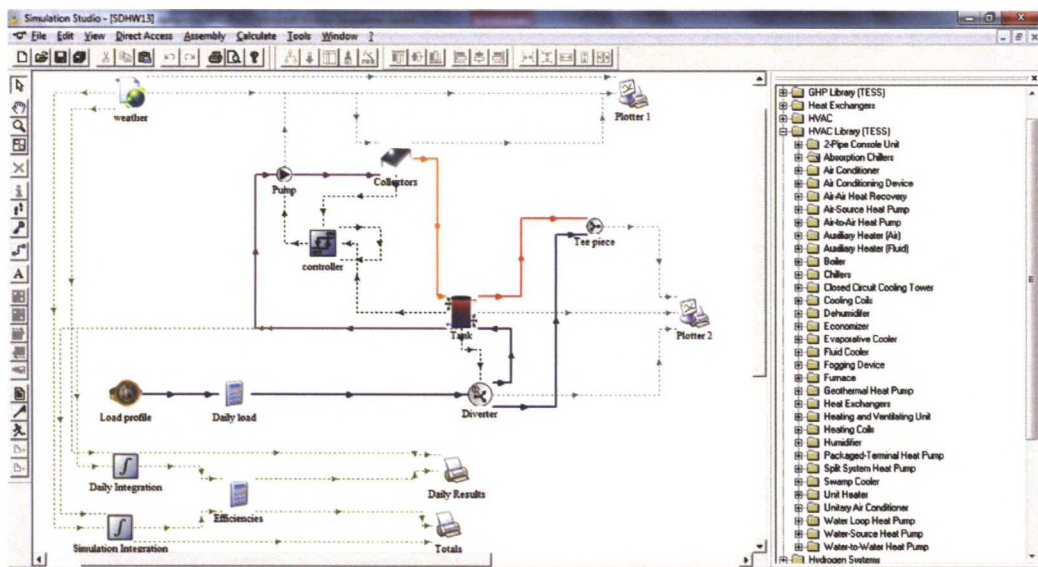
3.3 Simuloinnin kuvaus

3.3.1 Simulointiohjelma

Aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien simuloinnit toteutetaan käyttäen TRNSYS 17-ohjelmaa. TRNSYS on laaja simulointiympäristö, jolla voidaan mallintaa erilaisten järjestelmien ja rakennusten toimintaa eri aikaväleillä. TRNSYS-ohjelman suosion avaintekijä on sen avoin moduulimainen rakenne ja mahdollisuus lisätä ohjelmaan omia komponentteja. (Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2009)

Syy siihen, minkä takia tässä työssä on päätetty käyttää nimenomaan TRNSYS-ohjelmaa on se, että TRNSYS mahdollistaa useiden eri lämmitysmuotojen yhdistämisen toisiinsa. Taitavampi ohjelman käyttäjä voi rakentaa esimerkiksi lämmitysjärjestelmän, joka hyödyntää kauko-, maa- ja aurinkolämpöä samanaikaisesti. Vastaavanlaista ei ole tarjolla muissa ohjelmissa. TRNSYS-ohjelman tarjoama valinnan vapaus edellyttää kuitenkin ohjelman käyttäjältä tarkkaavaisuutta, koska käyttäjän täytyy itse kytkeä komponentit toisiinsa aurinkokeräimistä venttiileihin.

TRNSYS-ohjelma tarjoaa järjestelmien simuloinnin ohella myös rakennusten mallintamisen. Käyttäjä voi itse valita, kuinka tarkasti rakennus mallinnetaan ja mitä otetaan huomioon esimerkiksi rakennuksen lämpöhäviöitä laskettaessa. Yksinkertaisimmillaan rakennuksen voi mallintaa yhtenä isona tilana tai rakennus voi olla erikseen mallinnettujen huoneiden summa. Rakennuksen lämmitystehon laskennassa taas voidaan esimerkiksi sisäiset lämpökuormat jättää kokonaan huomioimatta tai sisäisissä kuormissa voidaan ottaa huomioon jopa ikkunoista sisään tuleva auringon säteily.



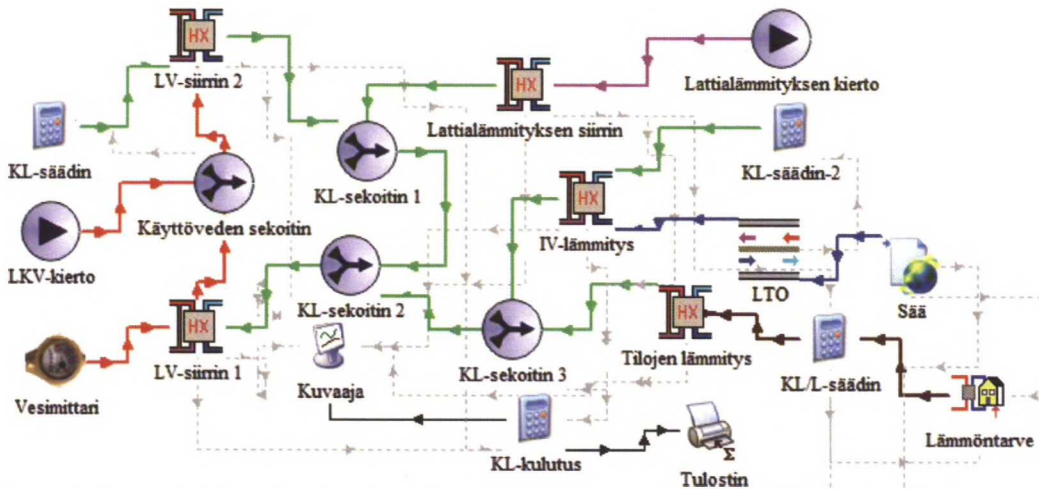
Kuva 3.8. TRNSYS 17-ohjelman käyttöliittymä. (Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2009)

Kuvassa 3.8 on esitetty TRNSYS-ohjelman käyttöliittymä ja esimerkki simuloitavasta aurinkokeräinjärjestelmästä, joka valmistaa lämmintä käyttövettä. Yleisesti simuloitavat järjestelmät rakennetaan parametrien avulla yksilöitävillä komponenteilla, jotka yhdistetään toisiinsa komponentteihin linkkien avulla. Linkit siirtävät halutut tiedot komponentilta toiselle. Komponentteja voi lisätä projektiin kuvan 3.8 oikeassa reunassa näkyvästä kansiohakemistosta. Simuloitavan järjestelmän toiminnasta voi tulostaa erilaista tietoa suoraan esimerkiksi tekstitiedostoon tai kuvaajaan.

3.3.2 Järjestelmien simuloitavat mallit

Jokaisesta luvussa 3.2 esitetyistä kytkennästä on tehty TRNSYS-ohjelmalla simuloitava malli sekä piste- että lamellitalolle. Jokainen kytkentä on pyritty mallintamaan siten, että kytkennän ja mallin rakenne ja toiminta vastaavat toisiaan. Tässä työssä kaukolämpökytkennän toiminta on kuitenkin jouduttu toteuttamaan osittain toisin verrattuna yleiseen tapaan, simulointiohjelmassa tehdyistä valinnoista johtuen. Tässä työssä kaukolämpökytkennän lämmityspiirin menolämpötilat pysyvät vakioina ympäri vuoden ja kiertoveden virtaamaa säädetään kunkin lämmityskohteen sen hetkisen lämmöntarpeen mukaan. Käyttöveden lämmitystä säädetään kuitenkin samoin kuin yleisesti on tapana.

Kuvassa 3.9 on esitetty esimerkin vuoksi kaukolämmön peruskytkennästä simulointiohjelmassa mallinnettu versio. Mallissa on esitetty lämpimän käyttöveden valmistus punaisin nuolin, lattialämpöveden kierto vaaleanpunaisella nuolella ja kaukolämpöveden kierto vihrein nuolin. Ilmanvaihto taas on kuvattu sinisin nuolin ja tilojen lämmitys on kuvattu tumman punaisin nuolin.



Kuva 3.9. Kaukolämmön peruskytkentä mallinnettuna TRNSYS 17-ohjelmalla.

Lämpimän käyttöveden valmistus on mallinnettu kahden lämmönsiirtimen, vesimittarin ja vakiovirtaaman omaavan pumpun avulla. Pumppu vastaa lämpimän käyttöveden kiertoa ja vesimittari antaa lämpimän käyttöveden kulutuksen tuntikohtaisesti. Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimistä ensimmäinen on tarkoitettu kylmän käyttöveden esilämmitykseen ennen sen yhdistämistä käyttöveden kiertoon sekä kaukolämpöveden loppujäähdytykseen. Jälkimmäinen lämmönsiirrin lämmittää käyttöveden sille asetettuun loppulämpötilaansa.

Rakennuksen ilmanvaihdon mallinnuksessa on käytetty sääkomponenttia, lämmöntalteenottoa ja lämmönsiirrintä. Sääkomponentilta lämmöntalteenotto saa raitisilman lämpötilan, paineen ja suhteellisen kosteuden. Lämmöntalteenotolle taas on ilmoitettu muun muassa poistoilman määrä ja lämpötila. Lämmöntalteenoton jälkeen ilma virtaa jälkilämmityspatterin läpi, jossa ilmapirtaa tarvittaessa vielä lämmitetään.

Rakennuksen tilojen lämmityspiirin mallintamisessa on käytetty yhtä lämmönsiirrintä ja komponenttia, joka laskee rakennuksen tilojen lämmitystehontarvetta tunnin tarkkuudella. Lämmitystehontarvetta laskeva komponentti ottaa myös huomioon lattialämmityksestä, ihmisistä ja sähkölaitteista aiheutuvat lämpökuormat. Lämmitystehontarpeesta taas saadaan vakio lämpötilojen avulla laskettua lämmönsiirtimen kautta kulkevat kaukolämpöveden ja lämmityspiirin kiertoveden virtaamat.

Lattialämmitys taas on mallinnettu yhden lämmönsiirtimen ja vakiovirtaaman omaavan pumpun avulla. Lattialämmityksen osalta on oletettu, että meno- ja paluulämpötila sekä virtaama pysyy lähes samana ympäri vuoden. Kuvassa näkyvää kuvaaja- ja tulostinkomponenttia on tarvittu kuvaajien ja erilaisten tietojen saamiseksi kytkennän toiminnasta.

Liitteessä 7 on vielä esitetty yksityiskohtaisemmin kaikki komponentit, joita kytkentöjen malleissa on käytetty. Taulukossa on myös esitetty eräitä olennaisimpia komponenteille annettuja arvoja, sikäli kun niitä ei ole jo mainittu toteutuksen kohteita esiteltäessä.

3.4 Muun laskennan kuvaus

Simuloimalla saadulle käytetylle kaukolämpöenergialle on laskettu hiilidioksidipäästöt taulukon 3.3 avulla. Taulukossa ilmoitettu hiilidioksidin päästömäärä perustuu Vantaan Energian ilmoittamiin päätuotantotapoihin ja pääpolttoaineisiin eri ajankohtina vuodessa. Taulukossa ilmoitettu hiilidioksidipäästö perustuu polttoaineen ominaispäästöön erillis- ja yhteistuotannon hyötysuhteet huomioiden. Lisäksi yhteistuotantoaikana hiilidioksidipäästö on jaettu tuotetun sähköenergian ja tuotetun kaukolämpöenergian suhteessa kummallekin tuotteelle.

Taulukko 3.3. Kaukolämmön hiilidioksidipäästöt ja tuotantotapa eri ajankohtina vuodessa. (Kortelainen, 2012) (Suomi;ym., 2004) (Energiateollisuus ry, 2006)

Ajankohta	Tuotantotapa	Polttoaine	CO ₂ -päästöt g/kWh
Marraskuu - maaliskuu	Erillistuotanto	Maakaasu ja öljy	314,2
Huhtikuu - toukokuu	Yhteistuotanto	Maakaasu ja hiili	241,3
Kesäkuu - elokuu	Yhteistuotanto	Jäte	80,0
Syyskuu - lokakuu	Yhteistuotanto	Maakaasu ja hiili	241,3

Kaukolämpöveden paluulämpötilan muutoksen aiheuttama muutos sähköntuotannon hiilidioksidipäästöihin, kun yhteistuotannossa menetetty sähköntuotanto korvataan fossiilisiin polttoaineisiin perustuvalla sähkön erillistuotannolla:

$$\Delta m_{CO_2} = (1 - 0,998^{(T_{uusi} - T_{perus})}) * 0,5 * E_{KL} * h, \quad (1)$$

jossa

E_{KL} = lämpötilan nousun aikana käytetty kaukolämpöenergia (kWh)

T_{perus} = kaukolämmön peruskyltyn paluulämpötila (°C)

T_{uusi} = muutetun kyltyn paluulämpötila (°C)

h = fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan sähkön erillistuotannon hiilidioksidipäästö
769,2 g/kWh

(Energiateollisuus ry, 2006)

Edellä mainitulla kaavalla saadaan siis laskettua kaukolämmön paluueden lämpötilan muutoksen aiheuttama suurin mahdollinen muutos sähköntuotannon hiilidioksidipäästöissä. Vaikka tällä hetkellä sähkön erillistuotannossa käytetäänkin paljon fossiilisia polttoaineita, voi sähkön erillistuotanto perustua tulevaisuudessa pääasiassa uusiutuviin energianlähteisiin, kuten tuuli- ja aurinkovoimaan. Tällöin esimerkiksi kaukolämpöveden paluulämpötilan nousu ei lisäisi sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjä.

Aurinkolämpöjärjestelmän taloudellista kannattavuutta on päätetty selvittää tässä työssä takaisinmaksuajan menetelmällä, jolla saadaan helposti ja nopeasti karkea arvio investoinnin kannattavuudesta. Takaisinmaksuaika saadaan laskettua alla olevalla kaavalla 2.

$$N = \frac{I}{A}, \quad (2)$$

jossa

N = takaisinmaksuaika (vuosi)

I = investointikustannukset (€)

A = vuosittainen aurinkolämpöjärjestelmän nettotuotto (€)

(Sirén, 2008)

Mikäli halutaan arvioida aurinkolämpöjärjestelmän vaikutusta rakennuksen E-lukuun, voidaan käyttää alla olevaa kaavaa 3.

$$\frac{(E_{KL,uusi} - E_{KL,vanha}) * k + E_s * a}{A}, \quad (3)$$

jossa

$E_{KL,uusi}$ = kaukolämmönkulutus aurinkolämpöjärjestelmän kanssa (kWh/a)

$E_{KL,vanha}$ = kaukolämmönkulutus ilman aurinkolämpöjärjestelmää (kWh/a)

k = kaukolämmön energiamuotokerroin 0,7

E_s = aurinkolämpöjärjestelmän sähkönkulutus (kWh/a)

a = sähkön energiamuotokerroin 1,7

A = E-lukulaskennassa rakennuksen lämmitetty nettoala

(Vapaavuori;ym., 2012)

4 Simuloinnin ja laskennan tulokset

Piste- ja lamellitalon simuloinnin tulokset ovat nähtävissä tämän luvun lisäksi liitteistä 8 ja 9. Liitteessä 8 on taulukoituna pistetalon eri kytkentöjen tulokset kuukauden tarkkuudella sekä kuvaajat integroitujen kytkentöjen ja kaukolämpöä varaavan kytkennän toiminnasta. Integroidun kytkennän kuvaaja on otettu viikolta 26 ja varaavan kytkennän kuvaaja viikolta 10. Lamellitalon tulokset ovat pistetaloa vastaavalla tavalla liitteessä 9.

4.1 Kaukolämpöveden paluulämpötila

Taulukossa 4.1 on esitetty kaukolämpöveden koko vuoden aikainen keskimääräinen paluulämpötila eri kytkennöissä. Tuloksista nähdään, että kaukolämpöveden paluulämpötila pysyy melko ennallaan esisekoituksella varustettuja kaukolämpökytkentöjä lukuun ottamatta. Integroiduissa kytkennöissä kaukolämmön paluueden lämpötila nousee kuitenkin herkemmin pienemmän energiankulutuksen omaavalla pistetalolla.

Tästä voidaan päätellä, että aurinkolämpöjärjestelmä voidaan liittää kaukolämmön yhteyteen myös ilman kaukolämpöveden merkittävää paluulämpötilan nousua. Aurinkokeräimien pinta-ala ei kuitenkaan saa olla huomattavasti esimerkkirakennusten keräinalaa suurempi, eikä rakennuksen lämmöntarve saa olla merkittävästi esimerkkirakennusten lämmöntarvetta pienempi. Lisäksi integroidussa kytkennässä ei saa olla ainakaan ympärivuotista kylmän käyttöveden ja lämpimän käyttöveden kierron sekoittamista ennen ensimmäistä kaukolämmönsiirrintä.

Taulukko 4.1. Kaukolämmön paluueden keskimääräinen lämpötila eri kytkennöissä.

Kytkentä		Kaukolämpöveden paluulämpötila °C	Paluulämpötilan ero kaukolämmön peruskytkentään °C
Pistetalo	Kaukolämmön peruskytkentä	39	0
	Kaukolämpökytkentä esisekoituksella	45	6
	Kaukolämpökytkentä varaajalla	37	- 2
	Integroitu kytkentä yhdellä varaajalla	43	4
	Integroitu kytkentä kahdella varaajalla	42	3
Lamellitalo	Kaukolämmön peruskytkentä	40	0
	Kaukolämpökytkentä esisekoituksella	47	7
	Kaukolämpökytkentä varaajalla	40	0
	Integroitu kytkentä yhdellä varaajalla	43	3
	Integroitu kytkentä kahdella varaajalla	42	2

4.2 Aurinko- ja kaukolämmönkulutus

Taulukossa 4.2 on esitetty eri kytkentöjen vuosittainen aurinko- ja kaukolämmönkulutus. Kaukolämpökytkentöjen osalta voidaan sanoa, että peruskytkennän ja esisekoituksella varustetun kytkennän välillä ei ole kaukolämmön kulutuksessa eroa. Sen sijaan varaajalla varustettu kaukolämpökytkentä kuluttaa kaukolämpöä noin 2 % enemmän peruskytkentään verrattuna.

Taulukko 4.2. Eri kytkentöjen vuosittainen aurinko- ja kaukolämmönkulutus.

Kytkentä		Kaukolämmön kulutus MWh/a	Aurinkolämmönkulutus MWh/a	Aurinkolämmön osuus %
Pistetalo	Kaukolämmön peruskytkentä	209,9	0	0
	Kaukolämpökytkentä esisekoituksella	209,9	0	0
	Kaukolämpökytkentä varaajalla	215,1	0	0
	Integroitu kytkentä yhdellä varaajalla	177,6	32,3	15,4
	Integroitu kytkentä kahdella varaajalla	180,9	29,0	13,8
Lamellitalo	Kaukolämmön peruskytkentä	371,9	0	0
	Kaukolämpökytkentä esisekoituksella	371,9	0	0
	Kaukolämpökytkentä varaajalla	379,3	0	0
	Integroitu kytkentä yhdellä varaajalla	325,5	46,4	12,5
	Integroitu kytkentä kahdella varaajalla	328,5	43,4	11,7

Pistetalon integroiduista kytkennöistä hieman paremmin toimi yhdellä varaajalla varustettu kytkentä, jolla saatiin hyödynnettyä noin 10 % enemmän aurinkolämpöä kahden varaajan kytkentään verrattuna. Syynä tähän on muun muassa se, että kahdesta puolikkaasta varaajasta koituu suuremmat lämpöhäviöt kuin yhdestä isommasta. Lisäksi aurinkolämpöä ei saatu yhtä paljon talteen kahteen pieneen kuin yhteen isoon varaajaan.

Lamellitalon integroiduista kytkennöistä parhaiten toimi, pistetalon tavoin, yhdellä varaajalla varustettu kytkentä. Eroa toiseen vaihtoehtoon jäi kuitenkin vähemmän eli noin 6 %. Tämä viittaisi siihen, että kahden varaajan integroidun kytkennän toiminta paranee suhteessa yhden varaajan kytkentään keräinalan kasvaessa.

Taulukossa 4.3 on esitetty kaavan 3 avulla tehdyt laskelmat, kuinka eri aurinkolämpöjärjestelmät voivat pienentää lamelli- ja pistetalon E-lukua. Aurinkolämpöjärjestelmien sähkönkulutus on laskettu käyttäen oletuksena Turun Energian kierto-

vesipumpulle ilmoittamaa vuosittaista sähkönkulutusta 450 kWh. Tätä lukua on vielä painotettu aurinkolämpöjärjestelmän kaikkien pumppujen yhteenlasketulla vuosittaisella käyntiajalla.

Taulukko 4.3. Aurinkolämpöjärjestelmän vaikutus E-lukuun.

Kytkentä	Kaukolämmön kulutuksen muutos kWh/a	Sähkön kulutuksen muutos kWh/a	E-luvun muutos kWh/brm ² /a
Pistetalo 1 varaaja	- 32 400	710	- 11
Pistetalo 2 varaajaa	- 29 100	640	- 10
Lamellitalo 1 varaaja	- 46 400	840	- 7
Lamellitalo 2 varaajaa	- 43 400	710	- 7

Tuloksista nähdään, että suurissa rakennuksissa on oltava suuremmat aurinkolämpöjärjestelmät, jotta E-luku pienenesi vastaavalla tavalla kuin pienissä rakennuksissa. Mikäli rakennuksen energiankulutus ei aivan täytä rakennusmääräysten E-lukuvaatimusta, on aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointi kuitenkin yksi vaihtoehto E-luvun pienentämiseksi. Tulevaisuudessa E-lukuvaatimusta saatetaan kuitenkin kiristää nykyisestä, jolloin esimerkiksi pelkästään rakennuksen tiivistäminen ei enää riitä E-lukuvaatimuksen täyttämiseksi.

Taulukko 4.4. Aurinkolämmön osuus käytetystä energiasta eri käyttökohteissa.

Lämmityskohde	Pistetalo		Lamellitalo	
	1 varaaja	2 varaajaa	1 varaaja	2 varaajaa
Käyttöveden esilämmitys				
- Kokonaisenergian käyttö kWh/a	46 710	46 470	97 950	97 470
- Aurinkolämmön osuus %	37,7	35,4	30,9	28,5
- Osuus aurinkolämmöstä %	54,4	56,7	65,2	64,0
Käyttöveden jälkilämmitys				
- Kokonaisenergian käyttö kWh/a	42 950	43 150	93 270	93 810
- Aurinkolämmön osuus %	2,1	0,1	0,8	0,8
- Osuus aurinkolämmöstä %	2,8	0,1	1,5	1,8
Lattialämmitys				
- Kokonaisenergian käyttö kWh/a	49 940	49 980	78 950	78 940
- Aurinkolämmön osuus %	20,6	19,9	15,3	14,8
- Osuus aurinkolämmöstä %	31,8	34,2	26,0	26,9
Ilmanvaihdon lämmitys				
- Kokonaisenergian käyttö kWh/a	27 130	27 130	47 470	47 470
- Aurinkolämmön osuus %	5,2	7,6	6,2	5,9
- Osuus aurinkolämmöstä %	4,4	7,1	6,4	6,5
Tilojen lämmitys				
- Kokonaisenergian käyttö kWh/a	43 200	43 200	54 230	54 240
- Aurinkolämmön osuus %	4,9	1,3	0,8	0,7
- Osuus aurinkolämmöstä %	6,5	1,9	1,0	0,9

Taulukossa 4.4 on esitetty aurinkolämmön jakautuminen eri kulutuskohteisiin kaikissa integroiduissa kytkennöissä. Piste- ja lamellitalon tuloksista nähdään, että aurinkolämpöä käytetään molemmissa kytkentätavoissa ja molemmissa rakennuksissa lähinnä käyttöveden esilämmitykseen ja lattialämmitykseen. Mikäli aurinkolämpöä haluttaisiin käyttöveden esilämmityksen ja lattialämmityksen ohella muihinkin tarkoituksiin, edellyttäisi se suurempaa aurinkokeräinalaa.

Aurinkolämpöjärjestelmän investointikustannusten minimoinnin kannalta on siis olennaista selvittää, että mihin tarkoituksiin aurinkolämpöä riittää. Näin vältetään ostamasta esimerkiksi ylimääräisiä lämmönsiirtimiä ja pumppuja sekä saadaan lämmitysjärjestelmän kytkennät toteutettua mahdollisimman yksinkertaisesti. Toistaiseksi taloudellisesti kannattamattomienkin osien liittäminen aurinkolämmön piiriin voi kuitenkin olla järkevää, mikäli tulevaisuudessa on odotettavissa lisäystä aurinkokeräinalaan.

4.3 Kaukolämmön varastointi ja tuntikohtainen laskutus

Mikäli kaukolämmön laskutuksessa siirrytään tulevaisuudessa tuntikohtaiseen laskutukseen, voidaan aurinkovaraajaa käyttää kaukolämmön varastointiin edullisempaan aikaan, mikäli aurinkolämpöä ei ole tällöin saatavissa. Taulukossa 4.5 on esitetty hahmotelma, miltä pistetalon tuntikohtainen kaukolämmön laskutus voisi näyttää.

Taulukko 4.5. Pistetalon kaukolämmön tuntikohtainen laskutus.

Kellonaika	Kaukolämmön- kulutus kWh	Ero keskiku- lutukseen %	Energian hinta €/MWh
00:00 – 01:00	25,8	- 9,8	57,27
01:00 – 02:00	25,8	- 9,8	57,27
02:00 – 03:00	25,8	- 9,7	57,35
03:00 – 04:00	26,2	- 8,8	57,92
04:00 – 05:00	27,2	- 6,4	59,43
05:00 – 06:00	29,3	- 1,1	62,79
06:00 – 07:00	31,5	4,1	66,09
07:00 – 08:00	32,0	5,3	66,85
08:00 – 09:00	31,4	3,9	66,00
09:00 – 10:00	30,7	2,1	64,82
10:00 – 11:00	30,0	0,4	63,75
11:00 – 12:00	29,4	- 1,0	62,88
12:00 – 13:00	29,0	- 2,1	62,18
13:00 – 14:00	28,5	- 3,2	61,46
14:00 – 15:00	28,3	- 3,7	61,11
15:00 – 16:00	28,8	- 2,3	62,01
16:00 – 17:00	30,3	1,2	64,24
17:00 – 18:00	31,8	4,9	66,58
18:00 – 19:00	33,0	7,9	68,53
19:00 – 20:00	34,3	11,1	70,53
20:00 – 21:00	34,8	12,2	71,21
21:00 – 22:00	33,3	8,5	68,88
22:00 – 23:00	30,3	1,3	64,33
23:00 – 24:00	27,7	- 5,0	60,30
Keskiarvo	29,8	0,0	63,49

Taulukossa ilmoitetut kaukolämpöenergian tuntikohtaiset kulutuslukemat vastaavat pistetalon kaukolämmön peruskytkennän viikon 10 keskimääräistä kyseisen tunnin aikaista kulutusta. Todellisuudessa keskikulutukset saattaisivat kuitenkin perustua koko vuoden kaukolämmön kulutukseen, mutta käytännönsyistä tässä jouduttiin otamaan huomattavasti lyhyempi aikaväli. Tuntikohtainen kaukolämpöenergian hinta on laskettu käyttäen koko vuorokauden keskimääräiselle kulutukselle Vantaan Energian mukaista hintaa. Tuntikohtainen hinta on saatu vertaamalla kyseisen tunnin keskikulutusta koko vuorokauden keskikulutukseen.

Jotta saadaan vielä selvitettyä kaukolämmön varastoinnin taloudellinen kannattavuus, verrataan pistetalon kaukolämmön peruskytkentää kaukolämpöä varastoivaan kytkentään taulukon 4.5 mukaisella esimerkkihinnastolla. Taulukossa 4.6 taas on

esitetty tuntikohtaisesti kustannukset pistetalon kaukolämmön käytölle viikolla 10 sekä kaukolämmön peruskytkennällä että kaukolämpöä varaavalla kytkennällä. Varaavan kytkennän kohdalla kaukolämpöä on varattu lämpimän käyttöveden jälkilämmitykseen vakiovirtaamalla 0,18 l/s aina kun kaukolämmön hinta on ollut alle keskiarvon.

Taulukko 4.6. Käytetyn kaukolämpöenergian hinta tuntikohtaisella laskutuksella pistetalon kaukolämmön peruskytkennälle ja varaavalle kytkennälle.

Kellonaika	Peruskytkentä		Varaava kytkentä	
	Kaukolämmön-kulutus kWh	Energian hinta €	Kaukolämmön-kulutus kWh	Energian hinta €
00:00 – 01:00	180,5	10,34	284,0	16,26
01:00 – 02:00	180,5	10,34	280,2	16,05
02:00 – 03:00	180,9	10,38	274,4	15,74
03:00 – 04:00	183,5	10,63	267,3	15,48
04:00 – 05:00	190,3	11,31	260,9	15,51
05:00 – 06:00	205,4	12,90	171,0	10,74
06:00 – 07:00	220,3	14,56	177,6	11,74
07:00 – 08:00	223,7	14,96	176,0	11,77
08:00 – 09:00	219,9	14,51	170,1	11,23
09:00 – 10:00	214,6	13,91	163,4	10,59
10:00 – 11:00	209,7	13,37	274,5	17,50
11:00 – 12:00	205,8	12,94	264,3	16,62
12:00 – 13:00	202,7	12,60	255,9	15,91
13:00 – 14:00	199,4	12,26	248,0	15,24
14:00 – 15:00	197,8	12,09	241,4	14,75
15:00 – 16:00	201,9	12,52	239,1	14,82
16:00 – 17:00	212,0	13,62	241,9	15,54
17:00 – 18:00	222,5	14,82	165,8	11,04
18:00 – 19:00	231,3	15,85	171,1	11,73
19:00 – 20:00	240,4	16,95	176,7	12,46
20:00 – 21:00	243,4	17,33	179,2	12,76
21:00 – 22:00	232,9	16,04	174,8	12,04
22:00 – 23:00	212,4	13,66	165,3	10,64
23:00 – 24:00	194,2	11,71	269,7	16,26
Yhteensä	5 000,2	319,59	5 292,7	332,41

Kuten taulukosta 4.6 nähdään, kaukolämmön varastointi aurinkolämpövaraajaan ei ole pistetalon kohdalla taloudellisesti kannattavaa. Syynä tähän on varaajasta aiheutuvat lämpöhäviöt, jotka lisäävät kaukolämmön kulutusta. Kulutuksen kasvusta aiheutuvat ylimääräiset energiakustannukset ovat siis suuremmat kuin säästöt, jotka tulevat halvempaan ajankohtaan painotetusta kulutuksesta.

Mikäli kaukolämmön kulutuksen painottamisella haluttaisiin lisää säästöjä, edellyttäisi se varastoidun kaukolämmön käyttämistä muihinkin tarkoituksiin, kuten lattialämmitykseen. Muiden kulutuskohteiden lisääminen varaajan piiriin edellyttäisi kuitenkin suurempaa kaukolämpöliittymää sekä se johtaisi selvästi korkeampaan kaukolämpöveden paluulämpötilaan. Lisäksi varaajan tulee olla suurempi tai kaukolämpö-

veden menolämpötilan korkeampi. Tulevaisuudessa kuitenkin pyritään mahdollisesti kaukolämpöveden osalta matalampiin lämpötiloihin kaukolämpöverkon lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Lisäksi suuremmasta varaajasta koituu luonnollisesti suuremmat lämpöhäviöt.

Taulukko 4.7. Lamellitalon kaukolämmön tuntikohtainen laskutus.

Kellonaika	Kaukolämmön- kulutus kWh	Ero keskiku- lutukseen %	Energian hinta €/MWh
00:00 – 01:00	51,2	- 17,6	52,29
01:00 – 02:00	51,3	- 17,5	52,35
02:00 – 03:00	51,4	- 17,1	52,61
03:00 – 04:00	52,2	- 15,3	53,79
04:00 – 05:00	54,2	- 10,4	56,89
05:00 – 06:00	58,6	0,4	63,76
06:00 – 07:00	62,9	10,9	70,43
07:00 – 08:00	63,8	13,0	71,75
08:00 – 09:00	62,3	9,3	69,42
09:00 – 10:00	59,9	3,6	65,79
10:00 – 11:00	57,9	- 1,4	62,58
11:00 – 12:00	56,3	- 5,3	60,15
12:00 – 13:00	55,2	- 8,0	58,41
13:00 – 14:00	54,1	- 10,5	56,81
14:00 – 15:00	53,7	- 11,5	56,20
15:00 – 16:00	55,1	- 8,1	58,34
16:00 – 17:00	58,5	0,1	63,56
17:00 – 18:00	61,9	8,5	68,91
18:00 – 19:00	64,7	15,4	73,25
19:00 – 20:00	67,6	22,4	77,71
20:00 – 21:00	68,7	25,1	79,43
21:00 – 22:00	65,9	18,3	75,09
22:00 – 23:00	60,1	4,0	66,03
23:00 – 24:00	55,0	- 8,3	58,22
Keskiarvo	58,4	0,0	63,49

Taulukossa 4.7 on esitetty mahdollinen kaukolämmön tuntikohtainen hinnasto lamellitalolle. Ilmoitetut kaukolämpöenergian tuntikohtaiset kulutuslukemat vastaavat lamellitalon kaukolämmön peruskytkennän viikon 10 kunkin tunnin aikaisia keskimäärisiä kulutuslukemia. Kaukolämpöenergian hinta on laskettu käyttäen keskimääräiselle kulutukselle Vantaan Energian mukaista hintaa. Tuntikohtainen hinta on saatu vertaamalla kyseisen tunnin kulutusta keskikulutukseen.

Taulukossa 4.8 on esitetty tuntikohtaiset kaukolämmön käytöstä johtuvat kustannukset sekä lamellitalon kaukolämmön peruskytkennälle että kaukolämpöä osittain varaavalle kytkennälle. Tuntikohtaiset kustannukset on laskettu taulukon 4.7 esimerkihinnastolla. Varaavan kytkennän kohdalla kaukolämpöä on varattu lämpimän käyttöveden jälkilämmitykseen vakiovirtaamalla 0,8 l/s aina kun kaukolämmön hinta on ollut alle keskiarvon.

Taulukko 4.8. Käytetyn kaukolämpöenergian hinta tuntikohtaisella laskutuksella lamellitalon kaukolämmön peruskytkennälle sekä kaukolämpöä varaavalle kytkennälle.

Kellonaika	Peruskytkentä		Varaava kytkentä	
	Kaukolämmön-kulutus kWh	Energian hinta €	Kaukolämmön-kulutus kWh	Energian hinta €
00:00 – 01:00	358,6	18,75	743,8	38,89
01:00 – 02:00	358,9	18,79	548,9	28,74
02:00 – 03:00	360,0	18,94	437,4	23,01
03:00 – 04:00	365,4	19,65	399,8	21,50
04:00 – 05:00	379,3	21,58	402,6	22,90
05:00 – 06:00	410,4	26,16	427,9	27,28
06:00 – 07:00	440,5	31,02	348,3	24,53
07:00 – 08:00	446,4	32,03	344,4	24,72
08:00 – 09:00	435,9	30,26	329,5	22,87
09:00 – 10:00	419,5	27,60	310,1	20,40
10:00 – 11:00	405,0	25,35	293,4	18,36
11:00 – 12:00	394,0	23,70	283,3	17,04
12:00 – 13:00	386,2	22,56	689,6	40,28
13:00 – 14:00	379,0	21,53	573,5	32,58
14:00 – 15:00	376,2	21,14	474,3	26,65
15:00 – 16:00	385,9	22,51	428,8	25,02
16:00 – 17:00	409,4	26,02	296,1	18,82
17:00 – 18:00	433,6	29,88	313,1	21,57
18:00 – 19:00	453,2	33,20	326,0	23,88
19:00 – 20:00	473,3	36,78	339,5	26,38
20:00 – 21:00	481,1	38,22	346,3	27,51
21:00 – 22:00	461,5	34,65	338,9	25,44
22:00 – 23:00	420,6	27,77	320,1	21,14
23:00 – 24:00	385,3	22,43	814,7	47,43
Yhteensä	9 819,2	630,53	10 130,1	626,95

Kuten taulukosta 4.8 nähdään, on kaukolämmön varastointi lamellitalon kohdalla taloudellisesti kannattavaa. Rahallinen hyöty jää kuitenkin taulukon arvoa vielä hie-
man pienemmäksi, koska varaava kytkentä edellyttää yhden ylimääräisen pumpun
käyttöä. Lamelli- ja pistetalon tuloksista voidaan päätellä, että kaukolämmön varas-
toinnin taloudellisuus edellyttää tuntikohtaisten hintojen merkittävää vaihtelua ja
rakennuksen osalta suurta käyttöveden kulutusta.

4.4 Hiilidioksidipäästöt

Taulukossa 4.9 on esitetty piste- ja lamellitalon eri kytkentöjen vuosittaiset hiilidioksidipäästöt. Käytetyn kaukolämpöenergian aiheuttamat hiilidioksidipäästöt on laskettu taulukon 3.3 tietojen perusteella. Mikäli kytkentä aiheuttaa myös kaukolämpöveden paluulämpötilan nousua, seuraa siitä yhteistuotannon aikaan sähköntuotannon hyötysuhteen huononemista. Yhteistuotannossa menetetty sähkö taas joudutaan korvaamaan erillistuotannossa, jonka aiheuttamat ylimääräiset hiilidioksidipäästöt on laskettu kaavan 1 avulla ja myös esitetty taulukossa 4.9. Lisääntyneen sähkönkulutuksen hiilidioksidipäästötkin on laskettu kaavan 1 sähkön erillistuotannon ominaispäästöä käyttäen.

Taulukko 4.9. Lamelli- ja pistetalon kytkentöjen hiilidioksidipäästöt.

Kytkentä		Kaukolämmön CO ₂ -päästöt kg/a	Paluulämpötilan eron CO ₂ -päästöt kg/a	Ylimääräisen sähkön CO ₂ -päästöt kg/a	Päästöt yhteensä kg/a	Muutos CO ₂ -päästöissä %
Pistetalo	Kaukolämmön peruskytkentä	51 170	0	0	51 170	0
	Kaukolämpökytkentä esisekoituksella	51 180	570	0	51 750	1
	Pistetalon kaukolämpökytkentä varaajalla	52 870	- 290	350	52 580	3
	Integroitu kytkentä yhdellä varaajalla	46 080	300	550	46 930	- 8
	Integroitu kytkentä kahdella varaajalla	46 410	290	490	47 190	- 8
Lamellitalo	Lamellitalon kaukolämmön peruskytkentä	92 120	0	0	92 120	0
	Kaukolämpökytkentä esisekoituksella	92 130	1 180	0	93 310	1
	Kaukolämpökytkentä varaajalla	94 260	- 210	350	94 400	2
	Integroitukytkentä yhdellä varaajalla	84 860	460	650	85 970	- 7
	Integroitukytkentä kahdella varaajalla	85 420	440	550	86 410	- 6

Taulukon 4.9 tietojen perusteella voidaan sanoa, että aurinkolämpöjärjestelmällä saadaan selvästi pienennettyä kaukolämmitetyn kerrostalon energiankäytöstä koituvia vuosittaisia hiilidioksidipäästöjä. Tässä työssä tehdyillä simuloinneilla saatiin noin 100 m²-keräinalalla kerrostalon vuosittaisia hiilidioksidipäästöjä vähennettyä paremmin toimineella kytkennällä noin 7 %. Lisäksi huomataan, että kaukolämpöveden lämpötilannoususta aiheutuvat ylimääräiset hiilidioksidipäästöt jäävät noin 100 m²-keräinalalla lisääntyneen sähkönkulutuksen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä pienemmiksi.

Kaukolämpökytkentöjen osalta taas nähdään, että lämpimän käyttöveden kierron sekoittaminen kylmään käyttöveteen ennen ensimmäistä kaukolämmönsiirrintä johtaa vuosittaisien hiilidioksidipäästöjen 1 % kasvuun. Kaukolämmön varaamisen osalta taas nähdään, että vaikka kaukolämpöveden keskimääräinen paluulämpötila hie-
man laskikin, koituu varaajan lämpöhäviöistä ja yhden ylimääräisen pumpun käytös-
tä jopa esisekoituksella varustettua kytkentää suuremmat vuosittaiset hiilidioksidi-
päästöt.

4.5 Aurinkolämpöjärjestelmän taloudellisuus

Taulukossa 4.10 on esitetty lamelli- ja pistetalon eri kytkentöjen vuosittaiset energiankäytöstä johtuvat kustannukset. Kaukolämmön ja sähkön hintoina on käytetty Vantaan Energian hinnaston mukaisia hintoja, joka on kaukolämmölle 63,49 €/MWh ja sähkölle 69,8 €/MWh.

Taulukko 4.10. Lamelli- ja pistetalon eri kytkennöistä koituvat vuosittaiset energia-kustannukset.

Kytkentä		Kaukolämpö- energian kus- tannukset €/a	Sähköenergi- an kustan- nukset €/a	Kustannukset peruskytkentään verrattuna €/a
Pistetalo	Kaukolämmön perus- kytkentä	13 320	0	0
	Kaukolämpökytkentä esisekoituksella	13 330	0	10
	Kaukolämpökytkentä varaajalla	13 660	30	370
	Integroitu kytkentä yh- dellä varaajalla	11 280	50	- 1 990
	Integroitu kytkentä kahdella varaajalla	11 480	40	- 1 800
Lamellitalo	Kaukolämmön perus- kytkentä	23 610	0	0
	Kaukolämpökytkentä esisekoituksella	23 610	0	0
	Kaukolämpökytkentä varaajalla	24 190	30	610
	Integroitu kytkentä yh- dellä varaajalla	20 670	60	- 2 880
	Integroitu kytkentä kahdella varaajalla	20 870	50	- 2 690

Jotta saataisiin vielä selvitettyä aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integroinnin taloudellinen kannattavuus, täytyy aurinkolämpöjärjestelmän investointikustannukset ja aurinkolämmöntuotto huomioda koko aurinkolämpöjärjestelmän elinkaaren ajalta. Taulukossa 4.11 on esitetty kustannuslaskelmat lamelli- ja pistetalojen yhden varaajan aurinkolämpöjärjestelmille käyttäen kaavan 2 mukaista takaisinmaksuajan menetelmää.

Aurinkokeräimien ja niiden asennustelineiden hinnat on laskettu Sonnenkraftin vuoden 2009 hinnaston mukaan perustuen noin 40 m²-keräinalaan. Näin ollen kappale- ja neliöhintoihin sisältyy myös asennus- ja toimituskuluja. Varaajan kuutiohintaa taas perustuu Ympäristöenergian varaajien hintoihin. Aurinkolämpöjärjestelmän vuosittaisiksi huoltokustannuksiksi on arvioitu 200 € (Pimiä, 2011).

Taulukko 4.11. Piste- ja lamellitalon aurinkolämpöjärjestelmän taloudelliset kustannukset ja takaisinmaksuaika. (Pimiä, 2011)

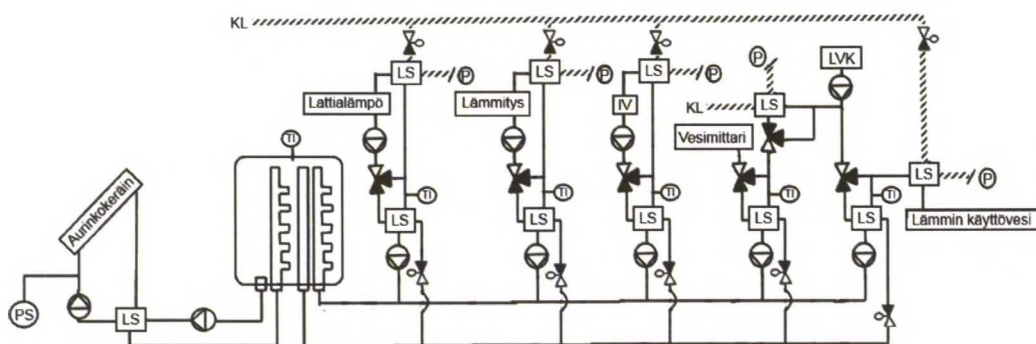
	Pistetalo	Lamellitalo
Aurinkokeräimet	$600 \text{ €/m}^2 \cdot 90 \text{ m}^2 = 54\,000 \text{ €}$	$600 \text{ €/m}^2 \cdot 115 \text{ m}^2 = 69\,000 \text{ €}$
Keräintelineet	$50 \text{ €/kpl} \cdot 35 \text{ kpl} = 1\,750 \text{ €}$	$50 \text{ €/kpl} \cdot 45 \text{ kpl} = 2\,250 \text{ €}$
Varaaja	$900 \text{ €/m}^3 \cdot 4,5 \text{ m}^3 = 4\,050 \text{ €}$	$900 \text{ €/m}^3 \cdot 5,8 \text{ m}^3 = 5\,220 \text{ €}$
Investointikustannukset yhteensä	59 800 €	76 470 €
Huoltokustannukset	200 €/a	200 €/a
Säästöt aurinkolämpöjärjestelmästä	1 990 €/a	2 880 €/a
Nettosäästöt	1 790€	2 680€
Takaisinmaksuaika	33 vuotta	29 vuotta

Taulukon 4.11 perusteella voidaan sanoa, että simuloinnissa käytetyt järjestelmät eivät todennäköisesti maksa itseään takaisin pienentyneillä energiakustannuksilla, koska aurinkolämpöjärjestelmien käyttöiäksi arvioidaan yleensä 20 vuotta. Kyseiset aurinkolämpöjärjestelmät voivat kuitenkin maksaa itsensä takaisin, mikäli ne toimivat noin 30 vuotta tai järjestelmät saadaan hankittua noin 30 % arvioituja hintoja halvemmalla.

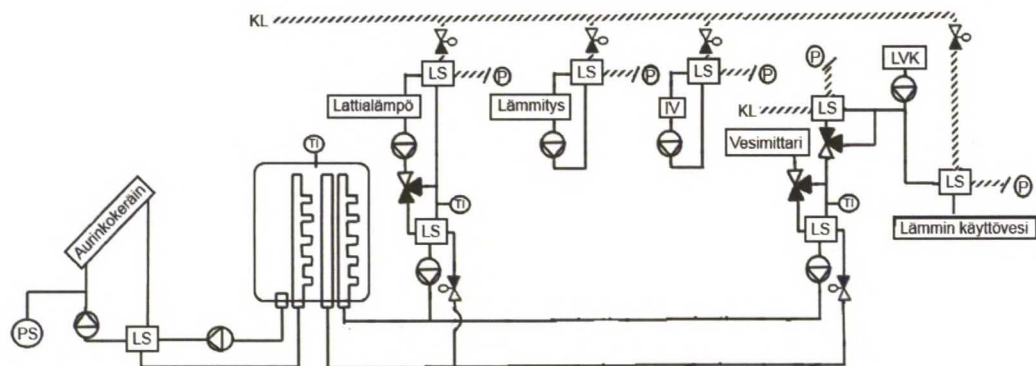
5 Järjestelmäkuvaus ja suunnitteluohjeet

5.1 Järjestelmäkuvaus

Kuvassa 5.1 on esitetty kaukolämpöyhtiöiden vaatimukset täyttävä ja simulointien perusteella aurinkolämmön tuotannon kannalta parhaiten toimineen integroidun lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio. Kytkeä mahdollistaa aurinkolämmön käytön ilmanvaihtoilmalle, tilojen, kosteiden tilojen lattia- ja käyttöveden lämmitykseen. Kaikkiin lämmitystä vaativiin kohteisiin, kuten käyttöveden jälkilämmitykseen, ei kuitenkaan välttämättä kannata lisätä mahdollisuutta aurinkolämmön käyttöön, mikäli keräinalue ei ole riittävän suuri tuottamaan tarpeeksi aurinkolämpöä kyseiseen tarkoitukseen. Esimerkiksi kuvien 5.6 ja 5.7 kuvaajia voi käyttää apuna, kun ollaan päättämässä, mihin eri kulutuskohteisiin aurinkolämmön käyttömahdollisuus lisätään.



Kuva 5.1. Yhdellä varaajalla varustetun integroidun kytkennän kytkentäkaavio.



Kuva 5.2. Yksinkertaistetun yhdellä varaajalla varustetun integroidun kytkennän kytkentäkaavio.

Mikäli rakennukseen tulevien aurinkokeräimien yhteenlaskettu pinta-ala on kuitenkin korkeintaan 200 m^2 , voidaan hyvin käyttää kuvan 5.2 mukaista kytkentää, jossa aurinkolämpöä käytetään vain märkätilojen mukavuuslattialämmitykseen sekä lämpimän käyttöveden esilämmittämiseen. Näin saadaan vähennettyä huoltoon vaativien kohteiden lukumäärää. Lisäksi muiden lämmitystä vaativien kohteiden lisääminen aurinkolämmön piiriin lisäisi tällöin vuosittaista aurinkolämmön tuottoa korkeintaan 10 %. Käyttöveden esilämmittämiseen tarkoitettu aurinkolämmönsiirrin kannattaa

kuitenkin mitoittaa lämmittämään käyttövesi hieman yli 58 °C, koska tällöin saadaan käytettyä aurinkolämpöä myös lämpimän käyttöveden kierron lämmittämiseen.

Aurinkolämmön talteenotto on toteutettu kuvan 5.1 ja 5.2 mukaisissa järjestelmissä siten, että aurinkokeräimissä kiertävä ja jäätyminenestolla varustettu kiertovesi ei kulje suoraan varaajassa. Aurinkokeräinpiiristä lämpö siirretään varaajaan ottamalla pumpulla kylmää vettä varaajan alaosasta ja palauttamalla lämmönsiirtimessä lämmennyt vesi kerrostavasti takaisin varaajaan.

Aurinkokeräinpiirin pumppu käynnistetään, kun aurinkokeräimistä saatavan nesteen lämpötila ylittää varaajan alaosassa olevan nesteen lämpötilan. Kyseinen pumppu vastaavasti pysäytetään, jos varaajan alaosassa olevan nesteen lämpötila ylittää aurinkokeräimistä saatavan nesteen lämpötilan tai varaajan yläosassa olevan nesteen lämpötila saavuttaa varaajan maksimilämpötilan.

Silloin, kun aurinkolämpöä ei ole käytettävissä, kytkentä toimii tavanomaisen kaukolämpökytkennän tavoin. Tällöin esimerkiksi lattialämmityspiirin kiertovesi ei kulje aurinkolämmönsiirtimen kautta, vaan menee suoraan kaukolämmönsiirtimelle. Siirtimelle otetaan venttiilin kautta kaukolämpövedtä tarvittava määrä ja tämän jälkeen kaukolämpövesi palautetaan kaukolämpöverkkoon ensimmäisen käyttöveden lämmönsiirtimen kautta.

Mikäli varaajan yläosassa olevan veden lämpötila on riittävän korkea lämmittämään esimerkiksi edellä mainittua lattialämmityspiirin kiertovettä, ohjaa venttiili lattialämmityspiirin kiertoveden aurinkolämmönsiirtimelle ja lattialämmityspiirin aurinkolämpöpumppu käynnistyy. Lattialämmityspiirin kiertovesi kulkee aurinkolämmönsiirtimen jälkeen vielä kaukolämmönsiirtimen kautta, mutta venttiilin kautta ei oteta kaukolämpövedtä, mikäli lämmitystarvetta ei enää ole. Mikäli kiertovesi lämpenee liian kuumaksi aurinkolämmönsiirtimessä, voidaan mukaan sekoittaa viileämpää paluuvettä oikean lämpötilan saavuttamiseksi.

Integroidun lämmitysjärjestelmän aurinkokeräimet tulisi mahdollisuuksien mukaan suunnata etelään päin ja asentaa 45°-kallistuskulmaan esimerkiksi katolle telineisiin. Katolle telineisiin asennettujen aurinkokeräimien huolto on myös helpompaa kuin rakennuksen ulkokuoreen integroitujen aurinkokeräimien. Jotta aurinkokeräimien lämmönsiirtoneste ei pääsisi talvella jäätymään ja vaurioittamaan aurinkokeräimiä, tulee lämmönsiirtonesteen sisältää noin 40 - 50 % pakkasnestettä (Jodat, 2011).

Aurinkokeräimien pinta-alan mitoitus voidaan tehdä kuvien 5.4 ja 5.5 kuvaajia apuna käyttäen, joissa on esitetty muun muassa aurinkokeräimien ominaistuotto eri keräinpinta-aloilla. Aurinkokeräimien putkitus tulee tehdä siten, että kaikissa rinnan kytke-tyissä aurinkokeräimien sarjoissa on yhtä monta aurinkokeräintä (Jodat, 2011). Lisäksi lämmönkeruunesteen putkistoon on hyvä asentaa säätöventtiileitä esimerkiksi jokaiseen aurinkokeräinsarjan haaraan, jotta lämmönkeruunestettä kiertäisi jokaisessa aurinkokeräimien sarjassa yhtä paljon. Lämmönkeruunesteen putkiston ylimpiin kohtiin tulee muistaa myös asentaa riittävän monta ilmanpoistoverttiiliä.

Aurinkolämpövaraajan tulisi olla aurinkolämmön hyödyntämisen kannalta kerrostavaa mallia ja kerroksia tulisi olla mahdollisimman monta. Kierukoiden sijaan varaa-

jassa olisi vielä hyvä käyttää kerrostavia putkia varaajan kerrostuvuuden parantamiseksi.

Integroidun lämmitysjärjestelmän paisuntasäiliöt, kuten tilojen ja ilmanvaihdon lämmityspiirien paisuntasäiliöt, voidaan mitoittaa samalla tavalla kuin kaukolämpöjärjestelmän kohdalla tehdään. Ainoastaan aurinkokeräinpiirin paisuntasäiliö on poikkeus edelliseen. Aurinkokeräinpiirin paisuntasäiliö asennetaan lämmönsiirtonestettä aurinkokeräimille pumppaavan pumpun ja aurinkokeräimien väliin. Paisuntasäiliön tulee olla riittävän suuri, jotta se pystyy tarvittaessa ottamaan aurinkokeräimien sekä aurinkokeräimien ja lämmönsiirtimen välisen putkiston tilavuuden verran nestettä vastaan (Jodat, 2011).

5.2 Suunnitteluohjeet

Ennen kuin aloitetaan aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmän integroinnin suunnittelu, on hyvä vielä selvittää kaukolämmön toimittajalta integrointiin liittyvät ehdot. Näin välttyään esimerkiksi suunnitelmien ylimääraisiltä korjaamisilta. Tässäkin työssä mainitut Helsingin Energian asettamat vaatimukset voivat jossain vaiheessa muuttua, kun saadaan enemmän kokemuksia aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointiin liittyen. Mikäli siis suunnittelun pohjana aiotaan käyttää jotain vanhaa toteutusta, on hyvä varmistaa jo suunnittelun alussa, että kyseinen ratkaisu täyttää edelleenkin kaukolämmön toimittajan ehdot.

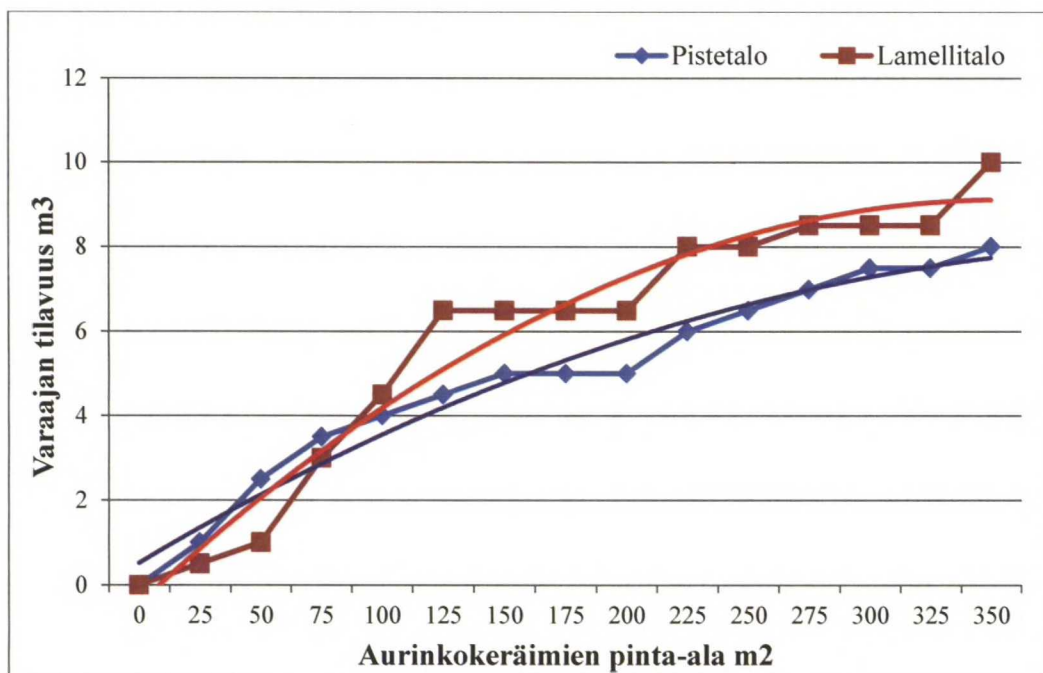
Jos aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointi on edelleen mahdollista ja hanketta aiotaan jatkaa, on integrointi huomioitava seuraavaksi rakennuksen suunnittelussa. Jos aurinkokeräimet ovat tulossa esimerkiksi rakennuksen katolle, on keräimille järjestettävä siellä riittävästi tilaa. Tämä onnistuu esimerkiksi ilmanvaihtokonehuoneen ja muiden rakennelmien järkevällä sijoittelulla. Varsinkin rakennuksen katton eteläinen puoli olisi hyvä varata lähinnä aurinkokeräimien sijoituspaikaksi.

Muita rakennuksen suunnittelussa huomioitavia asioita on varsinkin aurinkolämpövaraaja, joka kasvattaa merkittävästi lämmönjakohuoneen kokoa. Lämmönjakohuoneelle olisikin hyvä varata noin 6 m² enemmän tilaa verrattuna pelkästään kaukolämmitetyn kerrostalon lämmönjakohuoneeseen. Lisäksi esimerkiksi rakennuksen kerroslukumäärää mietittäessä olisi hyvä huomioida mahdolliset varjostusta aiheuttavat korkeammat naapurirakennukset.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitusta suunniteltaessa voi suunnittelun tukena käyttää kuvissa 5.3 - 5.7 esitettyjä kuvaajia. Kuvaajissa on hahmoteltu muun muassa, kuinka suuri varaaja aurinkolämpöjärjestelmässä kannattaa olla tai miten monta prosenttia rakennuksen kokonaislämmönkulutuksesta voidaan kattaa aurinkolämmöllä. Lisäksi kuvaajissa on näytetty, miten käytetty aurinkolämpö jakautuu eri kulutuskohteisiin eri keräinaloilla.

Kuvaajat eivät kuitenkaan anna parasta mahdollista ratkaisua, mikäli aurinkolämpöjärjestelmää ollaan suunnittelemassa esimerkiksi eri rakennukseen kuin mitä simuloinneissa on käytetty. Kuvaajien soveltuvuutta ei ole myöskään kokeiltu sellaiseen

tilanteeseen, jossa kahden simuloinnissa käytetyn rakennuksen taloyhtiöön ollaan suunnittelemassa yhtä lämmitysjärjestelmää.



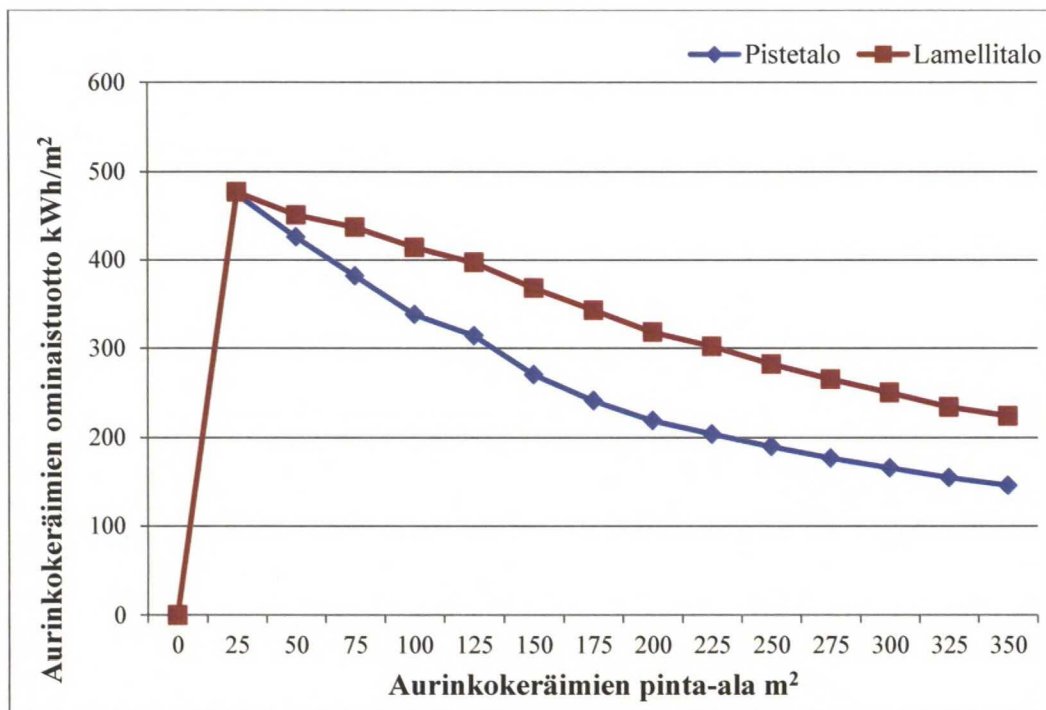
Kuva 5.3. Varaajan mitoitus aurinkokeräimien pinta-alan perusteella.

Kuvassa 5.3 on esitetty kuvaaja varaajan mitoittamiseksi aurinkokeräimien pinta-alan perusteella sekä piste- että lamellitalolle. Mitoitus eri keräinpinta-aloille on tehty yhden varaajan integroidulle kytkennälle kasvattaen varaajan tilavuutta, kunnes varaajan tilavuuden kasvulla saatu lisääntynyt aurinkolämpö ei kata varaajan tilavuuden kasvattamisen taloudellisia kustannuksia aurinkolämpöjärjestelmän koko elinkaaren aikana takaisinmaksuajanmenetelmää käytettäessä. Varaajan tilavuuden kasvusta aiheutuviksi kustannuksiksi on tässä arvioitu noin 1000 €/m³. Varaajan tilavuuden portaittaisesta kasvusta johtuen kuvaajassa oleville pisteviivoille on esitetty myös trendiviivat.

Varaajan mitoituskuvaajasta nähdään, että varaajan tilavuus kasvaa melko voimakkaasti keräinalan ollessa pienempi. Tilavuuden kasvu kuitenkin hidastuu keräinalan ylittäessä 200 m². Lamelli- ja pistetalon käyriä verratessa huomataan, että kooltaan ja asukasmäärältään suuremman rakennuksen aurinkolämpövaraaja voi olla tilavuudeltaan jonkin verran suurempi keräinalan kasvaessa.

Jos mietitään tavallista asuinkerrostaloa, mahtuu siihen yleensä noin 100 m² aurinkokeräimiä. Tällöin kuvaajan mukaan varaajan tilavuudeksi kannattaisi valita 4 m³. Varaajan tilavuuden kasvattaminen lisäisi kuitenkin vielä aurinkolämmön tuottoa. Lisäksi kuvaaja on piirretty kytkennällä, jossa aurinkolämpöä on käytetty kaikkiin mahdollisiin lämmitystä vaativiin kohteisiin. Mikäli aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integroinnissa päätetään käyttää kuvan 5.2 mukaista kytkentää, on tällöin hyvä mitoittaa varaaja hieman kuvan 5.3 kuvaajaa suuremmaksi. Nyrkkisääntönä voidaan siis sanoa, että aurinkolämpövaraajan tilavuus kannattaisi olla noin 5 m³.

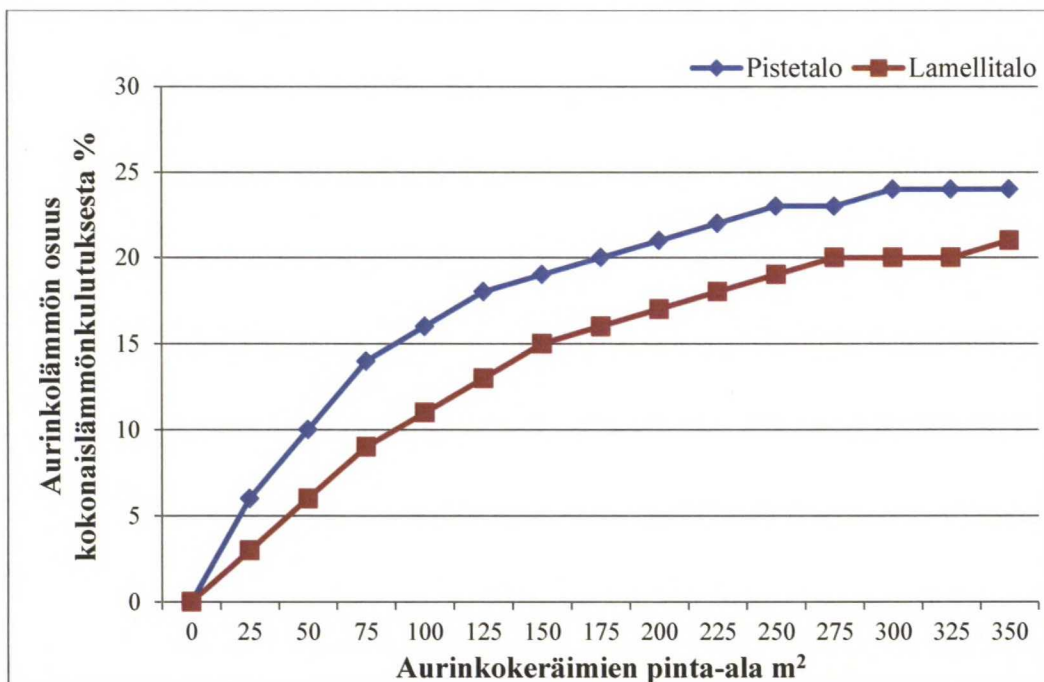
Kuvassa 5.4 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmän ominaistuotto eri keräinpinta-aloilla piste- ja lamellitalolle. Ominaistuotto on laskettu kuvan 5.1 mukaiselle yhdellä varaajalla varustetulle integroidulle kytkennälle, jossa varaajan tilavuus vastaa kuvan 5.3 tilavuutta. Ominaistuotossa on myös huomioitu ainoastaan hyödyksi saatu aurinkolämpö, joten esimerkiksi aurinkolämpövaraajan häviöitä ei lasketa ominaistuottoon mukaan.



Kuva 5.4. Aurinkolämpöjärjestelmän ominaistuotto eri keräinaloilla

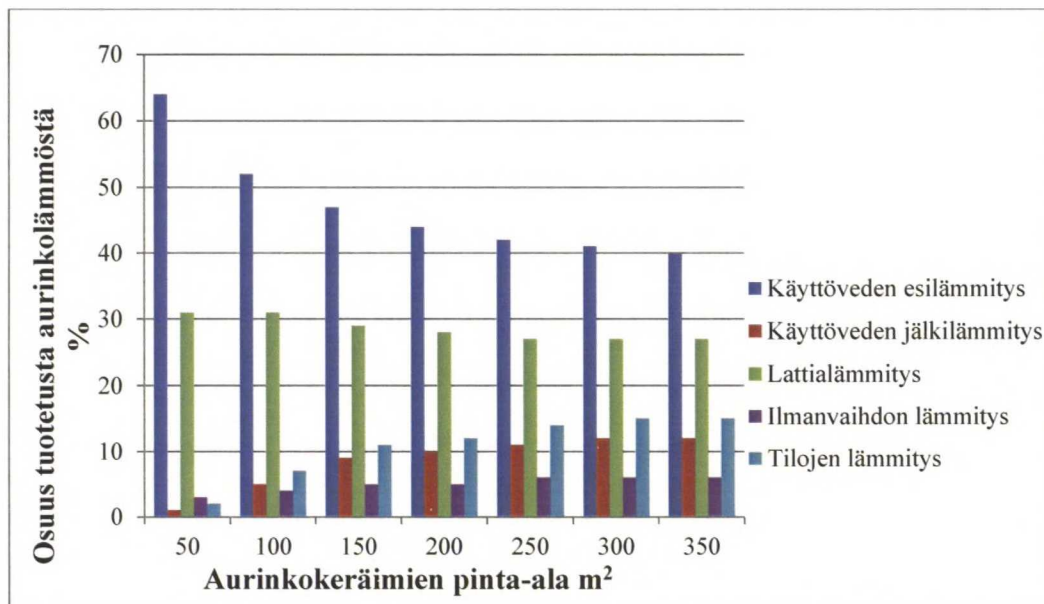
Ominaistuoton kuvaajasta nähdään, että hyödyksi saatu aurinkolämmön määrä aurinkokeräintä kohden laskee melko tasaisesti keräinalan kasvaessa. Tästä johtuen aurinkolämpöjärjestelmää ei ole taloudellisesti kannattavaa mitoittaa kattamaan kovin suurta osaa kiinteistön lämmönkulutuksesta. Lisäksi havaitaan, että lamellitalon aurinkolämpöjärjestelmän ominaistuotto laskee selvästi hitaammin verrattuna pistetalon aurinkolämpöjärjestelmän ominaistuottoon. Tämä johtunee lamellitalon merkittävästi suuremmasta lämmöntarpeesta ja lämpimän käyttöveden kulutuksesta, joka laskee aurinkokeräimille palaavan lämmönkeruunesteen lämpötilaa.

Kuvassa 5.5 on esitetty aurinkolämmön osuus piste- ja lamellitalon kokonaislämmönkulutuksesta eri keräinaloilla. Aurinkolämmön osuus kokonaislämmönkulutuksesta on laskettu kuvan 5.1 mukaiselle yhdellä varaajalla varustetulle integroidulle kytkennälle, jossa varaajan tilavuus eri keräinaloilla vastaa kuvan 5.3 tilavuutta.



Kuva 5.5. Aurinkolämmön osuus kokonaislämmönkulutuksesta eri keräinaloilla.

Kuvasta 5.5 nähdään, että aurinkolämmön osuuden kasvu hidastuu keräinalan kasvaessa. Mikäli siis haluttaisiin kattaa aurinkolämmöllä 25 % kokonaislämmönkulutuksesta, edellyttäisi se simuloinneissa käytetyillä rakennuksilla aurinkokeräinalaa vähintään 400 m². Yleisesti ottaen aurinkolämmön osuus rakennuksen kokonaislämmönkulutuksesta ei kuitenkaan kasva merkittävästi keräinalan ylittäessä 200 m².

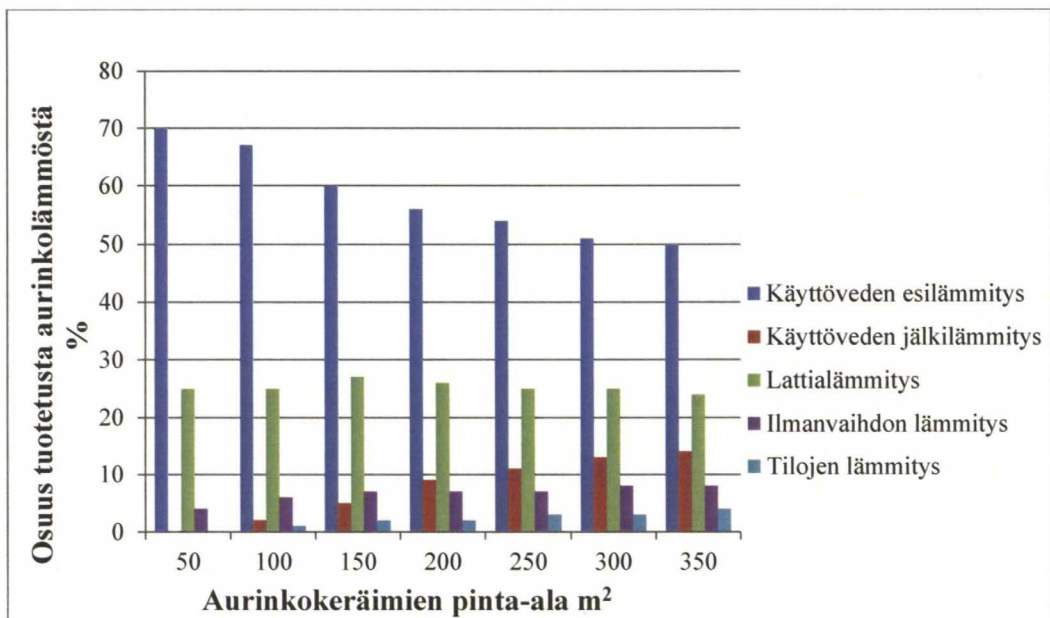


Kuva 5.6. Aurinkolämmön jakautuminen eri kulutuskohteisiin pistetalossa.

Kuvissa 5.6 ja 5.7 on esitetty, miten hyödyksi saatu aurinkolämpö jakautuu eri kulutuskohteisiin eri keräinaloilla. Aurinkolämmön jakautuminen eri kulutuskohteisiin on

laskettu yhdellä varaajalla varustetulle integroidulle kytkennälle, jossa varaajan tilavuus eri keräinaloilla vastaa kuvan 5.3 tilavuutta.

Molempien talojen palkkikuvaajista nähdään, että suurin osa käytetystä aurinkolämmöstä menee käyttöveden esilämmitykseen. Lamellitalon kohdalla esilämmitys katkaa jopa 70 - 50 % käytetystä aurinkolämmöstä. Seuraavaksi suurin osa tuotetusta aurinkolämmöstä menee märkätilojen mukavuuslattialämmitykseen. Kärjistetysti voidaankin siis sanoa, että noin 200 m² aurinkokeräinaloihin asti molemmissa taloissa aurinkolämpöä käytetään oikeastaan vain edellä mainittuihin käyttöveden esilämmitykseen ja mukavuuslattialämmitykseen. Tämä kannattaa ottaa huomioon, kun ollaan päättämässä, mitä aurinkolämmitykseen liittyviä osia kuvassa 5.1 esitetystä kytkennästä aiotaan toteuttaa.



Kuva 5.7. Aurinkolämmön jakautuminen eri kulutuskohteisiin lamellitalossa.

Kun integroitua lämmitysjärjestelmää ollaan ottamassa käyttöön, on hyvä tehdä huoltoyhtiön kanssa yksityiskohtainen ja kirjallinen sopimus siitä, mitkä lämmitysjärjestelmään liittyvät työtehtävät kuuluvat huoltoyhtiölle. Lisäksi tulee varmistaa, että huoltohenkilökunta on saanut riittävästi perehdytystä integroidun lämmitysjärjestelmän toimintaan, huoltoon sekä käyttöön liittyen. Lopuksi olisi vielä hyvä ottaa käyttöön jonkinlainen järjestelmä tai menetelmä lämmitysjärjestelmän toiminnan seuraamiseksi, jotta pystyttäisiin esimerkiksi seuraamaan vuosittaista tuotetun aurinkolämmön määrää.

6 Johtopäätökset

6.1 Tulosten pohdinta

Aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointi on tällä hetkellä eräs varteenotettava vaihtoehto, kun pyritään vähentämään kaukolämmitetyn asuinkerrostalon energiankäytön aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Kaukolämpöä kun ei kuitenkaan tulla tuottamaan ihan lähitulevaisuudessa pääosin uusiutuvia energianlähteitä käyttäen. Tämä johtuu muun muassa siitä, että kaukolämpöyhtiöiden laitekanta perustuu tällä hetkellä melko hiili-intensiivisten polttoaineiden, kuten hiilen ja maakaasun, käyttöön. Laitekantaakin on tapana uudistaa pääasiassa silloin, kun se on tullut käyttöikänsä päähän.

Aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integroinnissa tulee ottaa huomioon useita eri asioita, kuten kaukolämmöntoimittajien vaatimukset sekä rakennuksen asettamat rajoitukset. Kaukolämmöntoimittajien integrointia koskevat vaatimukset liittyvät usein kaukolämpöveden jäähtymään, joka ei kuitenkaan pitäisi olla ongelma pienien aurinkolämpöjärjestelmien kohdalla. Mikäli aurinkokeräinalaa on tulossa asuinkerrostaloon esimerkiksi reilusti yli 100 m², on kaukolämmöntoimittajalta jo varmuuden vuoksi hyvä pyytää lupaa poiketa kaukolämpöveden minimi jäähtymään liittyvästä velvoitteesta keskikesän aikaan.

Rakennuksen asettamia rajoituksia taas voi tulla vastaan erityisesti jo valmistuneissa rakennuksissa. Näitä voivat olla liian pieni tekninen tila tai lähes kaiken tilan katolta vievät ilmanvaihtojärjestelmän rakenteet. Uusissa rakennuksissa sen sijaan kannattaa jo suunnitteluvaiheessa varata tekniseen tilaan ylimääräistä tilaa aurinkolämpövaraa- jaa varten. Aurinkolämpövaraaajan tilavuudeksi voi olettaa noin 5 m³, jonka pitäisi riittää useimpiin järjestelmiin. Aurinkokeräimille taas voi varata tilaa esimerkiksi keskittämällä katolle tulevia rakennelmia mahdollisuuksien mukaan katon pohjois-reunalle.

Integroinnin osalta ei kannata odottaa merkittävää taloudellista tuottoa, koska kaukolämpöyhtiöillä on usein tapana käyttää vuodenaikaan perustuvaa hinnoittelua. Tällöin kaukolämmön hinta on usein edullinen kesäisin ja vastaavasti talvisin keskimääräistä korkeampi. Näin kaukolämpöyhtiöt pystyvät talviaikaan kompensoimaan esimerkiksi aurinkolämmön takia kesällä menetettyjä myyntitulojaan. Lisäksi kaukolämpölaskusta merkittävä osa koostuu kiinteästä tehomaksusta, johon vain kesäaikaan toimiva aurinkolämpöjärjestelmä ei pysty vaikuttamaan.

Aurinkolämmöntuoton kannalta ongelmallisinta on suurimman lämmöntarpeen ja aurinkolämmön parhaimman saatavuuden ajoittuminen eri ajankohtiin vuodessa. Kun aurinkolämpöä olisi paljon saatavissa, on tällöin lämmön tarvetta pääasiassa käyttöveden lämmityksessä ja mahdollisessa märkätilojen mukavuuslattialämmityksessä. Tämän vuoksi pienehköillä keräinaloilla usein riittää aurinkolämmitysmahdollisuuden lisääminen vain edellä mainittuihin kohteisiin.

Mikäli rakennuksessa olisi kuitenkin kesän aikoihin tarvetta ilmanvaihdon ja tilojen lämmitykselle, tulee toiseksi ongelmaksi lämmitysjärjestelmien nykyiset korkeahkot

lämpötilat. Aurinkolämmön hyötysuhde on kuitenkin parhaimmillaan alhaisissa lämpötiloissa ja korkeisiin lämpötiloihin päästään vain keskikesällä. Tästä johtuen integroitua lämmitysjärjestelmää käyttävissä asuinkerrostaloissa olisi hyvä esimerkiksi toteuttaa tilojen lämmitys matalalämpöjärjestelmänä, jos aurinkolämpöä halutaan hyödyntää tilojen lämmityksessäkin.

Jos otetaan huomioon Suomen uusiutuvan energian tavoitteet, joihin kuului muun muassa uusiutuvien energianlähteiden osuuden kasvattaminen rakennusten lämmityssektorilla, on melko todennäköistä, että aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointia tullaan tekemään tulevaisuudessa myös rakennusmääräysten vaatimusten vuoksi. Aurinkolämmön ainoa uhka tulevaisuudessa voi olla se, että rakennusten energiankäytöltä vaaditaan aurinkolämmön kannalta niin suurta uusiutuvan energian osuutta, että rakennuksiin joudutaan hankkimaan muita uusiutuvaa energiaa käyttäviä tai tuottavia järjestelmiä. Tämä johtuu muun muassa siitä, että aurinkolämpöjärjestelmien takaisinmaksuaika pitenee järjestelmän koon kasvaessa sekä suurien keräinalojen mahduttaminen rakennukseen voi olla haastavaa, vaikka aurinkolämpöjärjestelmä huomioitaisiin jo rakennusta suunniteltaessa.

Jos esimerkiksi simuloinneissa käytetyiltä rakennuksilta vaadittaisiin, että aurinkolämmöllä katetaan vähintään 25 % rakennusten kokonaislämmönkulutuksesta, olisi se vaatinut vähintään 400 m² keräinalaa, jonka mahduttaminen ainakin rakennusten katolle olisi ollut käytännössä mahdotonta. Tavoitteen täyttämiseksi aurinkokeräimiä olisi joutunut asentamaan katon lisäksi julkisivuille, joissa aurinkokeräimien ominaistuotto olisi ollut huomattavasti huonompi. Tulevaisuudessa kuitenkin, sitä mukaa kuin rakennusten energiatehokkuus parantuu, käyttöveden lämmityksen osuus rakennusten koko lämmitysenergiankulutuksesta kasvaa, jolloin myös aurinkolämmöllä voidaan kattaa entistä suurempi osa rakennuksen kokonaislämmönkulutuksesta keräinaloja kasvattamatta.

Tulevaisuudessa tullaan kuitenkin hyvin todennäköisesti pyrkimään siihen, että rakennusten energiankäytöstä aina vain suurempi osa katetaan uusiutuvalla energialla. Tähän ei enää pelkät aurinkolämpöjärjestelmät riitä, koska rakennusten energiankäytöstä aina vain suurempi osa on sähkönkulutusta. Näin ollen seuraava askel aurinkoenergian ja kaukolämmön integroinnin kohdalla voi olla se, että mietitään, missä määrin kiinteistöön otetaan aurinkokeräimiä ja aurinkokennoja kaukolämpöliittymän lisäksi.

6.2 Ehdotukset jatkotoimenpiteistä

Tämä työ ei anna vielä täydellistä vastausta kaikkiin aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointiin liittyviin ongelmiin tai kysymyksiin. Tämän työn tuloksista on kuitenkin hyvä jatkaa aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integrointiin liittyvää tutkimusta. Eräänä merkittävänä jatkotoimenpiteenä olisikin muunlaisten tästä työstä puuttuvien integroitujen kytkentöjen toiminnan selvittäminen ja jonkinlaisten suunnitteluohjeiden tekeminen kyseisille kytkennöille. Uusia kytkentätapoja selvitettyä kannattaa kuitenkin pitää mielessä kaukolämpöyhtiöiden asettamat vaatimukset aurinko- ja kaukolämpöjärjestelmien integroinnille.

Toisena teoreettisena jatkotoimenpiteenä voisi olla tarkempien suunnitteluohjeiden laatiminen tässä työssä esiteltyjen suunnitteluohjeiden jatkoksi. Esimerkkinä suunnitteluohjeiden tarkentamisesta voisi olla suunnitteluohjeissa olevien kuvaajien tekeminen myös taloyhtiöille, joissa on vain yksi lämmitysjärjestelmä, mutta lämmöntarve ja aurinkokeräimien pinta-ala on merkittävästi suurempi. Lisäksi mitoitusohjeita voisi laajentaa koskemaan myös integroidun järjestelmän muita osia, kuten esimerkiksi lämmönsiirtimiä ja pumppuja.

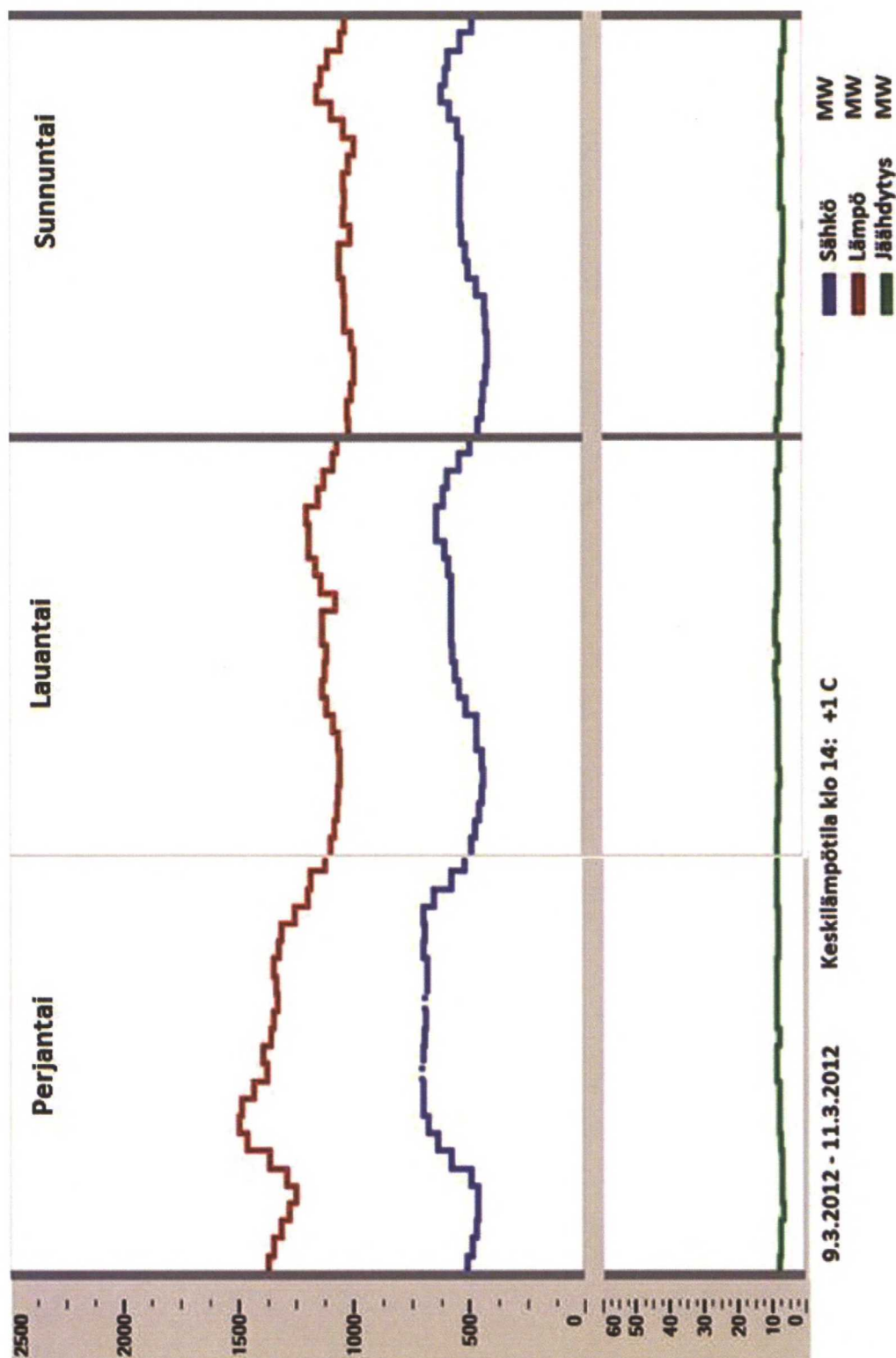
Lähdeluettelo

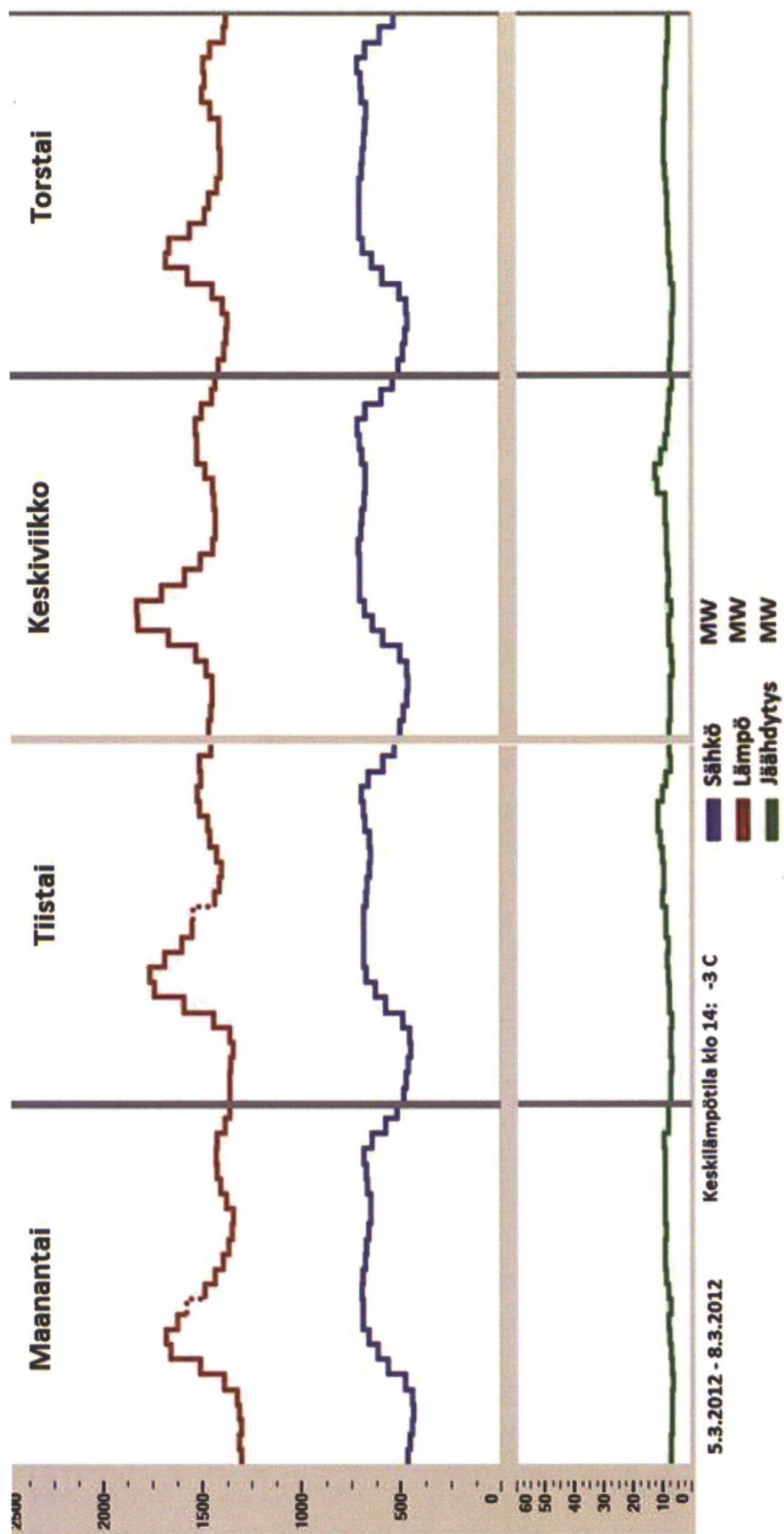
- Aalto, Sakari. 2010.** *Vesivaraajan merkitys aurinkolämpöjärjestelmässä.* Helsinki : Aurinkoteknillinen yhdistys ry, 2010.
- Aarnos, Kari. 2002.** *Vihreät sertifikaatit, uusi tapa tukea sähköntuotantoa uusiutuvista energialähteistä.* Helsinki : Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, 2002.
- Ahonen, Ari. 2011.** *Kilpailukatsaus 2: Viisas sääntely-Toimivat markkinat.* Helsinki : Kilpailuvirasto, 2011. ISBN: 978-952-5289-08-4.
- Alanen, Raili;ym. 2003.** *Energian varastoinnin nykytila.* Espoo : VTT, 2003. ISBN: 951-38-6160-0.
- Asplund, D;Flyktman, M ja Uusi-Penttilä, P. 2009.** *Arvio mahdollisuuksista saavuttaa uusiutuvien energialähteiden käytön tavoitteet vuonna 2020 Suomessa.* Jyväskylä : FINBIO, 2009. ISBN 978-952-513541-1.
- Danfoss. 2009.** *Instructions Gasketed heat exchanger XG.* s.l. : Danfoss, 2009.
- Energiateollisuus ry. 2012.** *Energiavuosi 2011 - Kaukolämpö. [Kalvosarja].* s.l. : Energiateollisuus ry. Saatavissa: <http://www.energia.fi/tilastot-ja-julkaisut>, 2012.
- . **2006.** *Kaukolämmön käsikirja.* Helsinki : Energiateollisuus ry, 2006. ISBN 952-5615-08-1.
- . **2011.** *Kaukolämpötilasto 2010.* Helsinki : Energiateollisuus ry, 2011. ISSN: 0786-4809.
- Erat, Bruno;ym. 2008.** *Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin.* Porvoo : Aurinkoteknillinen Yhdistys ry, 2008. ISBN: 978-952-92-2721-1.
- Hintikka, Johannes. 2004.** *Biomassapohjaiset mikro-CHP tekniikat.* Jyväskylä : Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2004. Bioenergiakeskuksen julkaisusarja, nro 8.
- International Energy Agency. 2009.** *Renewable Energy Essentials: Concentrating Solar Thermal Power.* s.l. : OECD/IEA, 2009.
- Jodat, Timo. 2011.** *Ympäristöenergian aurinkolämpöopas 2011.* Kolho : Jodat Ympäristöenergia Oy, 2011.
- Johansson, Anna. 2009.** *Analysis of Active Solar Heating Systems in Cold Climate Urban Areas. Diplomityö.* Helsinki : Teknillinen korkeakoulu, Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta, 2009.
- Kersalo, Juha ja Pirinen, Pentti. 2009.** *Suomen maakuntien ilmasto.* Helsinki : Ilmatieteen laitos, 2009. ISBN: 978-951-697-712-9.
- Kortelainen, Lassi. 2012.** *Lämpöpalvelupäällikkö.* Vantaan Energia. Vantaa, 1. Maaliskuu 2012.
- Lampinen, Markku ja Fagerholm, Nils-Erik. 2005.** *Lämmönsiirtimien mitoitus.* Espoo : Teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan laitos, 2005.
- Laughton, Chris. 2010.** *Solar Domestic Water Heating - The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation.* Lontoo : Earthscan, 2010. ISBN: 978-1-84407-736-6.
- Liljelund, Lars-Erik ja Korsfeldt, Thomas. 2008.** *Ekonomiska styrmedel i miljöpolitiken.* s.l. : Energimyndigheten ja Naturvårdsverket, 2008. ISBN: 91-620-5616-6.
- Lund, Peter ja Faninger-Lund, Heidrun. 2000.** *Aurinkolämmön itserakennusopas.* Helsinki : SOLPROS, 2000.
- Mälkiä, Jussi;ym. 2010.** *Kaukolämmön sopimusehdot. Suositus T1.* Helsinki : Energiateollisuus ry, 2010.
- Nielsen, Jan Erik. 2012.** *Danmark-Nu også med solvarme.* Tanska : Fjernvarmen nro 2 helmikuu, 2012.

- Pesola, Aki;Bröckl, Marika ja Vanhanen, Juha. 2011.** *Älykäs kaukolämpöjärjestelmä ja sen mahdollisuudet*. Helsinki : Gaia Consulting Oy, 2011.
- Pimiä, Timo. 2011.** *Aurinkolämmön käyttö rakennusten lämmityksessä ja sen investointikustannukset*. Tampere : Tampereen ammattikorkeakoulu, 2011.
- Pitz-Paal, Robert;ym. 2007.** *Development Steps for Parabolic Trough Solar Power Technologies With Maximum Impact on Cost Reduction*. s.l. : Journal of Solar Energy Engineering, 2007. Vol. 129.
- Pöyry Energy Oy. 2008.** *Esiselvitys kaukolämpöpumppausjärjestelyistä* . s.l. : Energiateollisuus ry, 2008.
- Pöyry Finland Oy. 2011.** *Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat*. Espoo : Energiateollisuus ry, 2011.
- Rakennustieto Oy. 2004.** *LVI 10-10372 Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet K1/2003. LVI-kortisto*. s.l. : Rakennustieto Oy, 2004.
- . **2006.** *LVI 10-10398 Kaukolämmitys. LVI-kortisto*. s.l. : Rakennustieto Oy, 2006.
- . **1992.** *LVI 11-10194 Aurinkolämmitys. LVI-kortisto*. s.l. : Rakennustieto Oy, 1992.
- Rantakokko, Jukka-Pekka. 2010.** *Kansainvälinen energiaverovertailu - Selvitys sähkön, polttoaineiden, kaukolämmön ja liikenteen veroista Suomessa ja eräissä muissa maissa*. Helsinki : Energiateollisuus ry, 2010.
- Saari, Mikko;ym. 2010.** *Ilmanvaihtolämmityksen ja -viilennyksen mallisuunnitelma*. Espoo : VTT Expert Services Oy, 2010.
- Seppänen, Olli. 2001.** *Rakennusten lämmitys*. Espoo : Suomen LVI-liitto ry, 2001. ISBN: 951-98811-0-7.
- Sirén, Kai. 2008.** *Rakennusten energianinvestointien kannattavuuden laskenta*. Espoo : Aalto yliopisto, Energiatekniikan laitos, 2008.
- Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison. 2009.** *TRNSYS 17 Getting Started manual*. Yhdysvallat : Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2009.
- SOLPROS. 2004.** *Ekoviikin EU-aurinkolämpöjärjestelmien jatkoseuranta. Loppuraportti*. Helsinki : SOLPROS. Saatavissa: http://www.viikinuusiutuvaenergia.net/Ekov_Solpros_loppur_2004.pdf, 2004.
- SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. 2012.** *Förteckning över solfångare enligt Solar Keymark och beräknade årsutbyten*. Borås : SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2012.
- Späte, Frank ja Ladener, Heinz. 2011.** *Solaranlagen, Handbuch der thermischen Solarenergienutzung*. Staufien : Ökobuch Verlag, 2011. ISBN: 978-3-936896-40-4.
- Suomi, Ulla;Hietaniemi, Janne ja Hellgrén, Matti. 2004.** *Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet*. s.l. : Motiva Oy, 2004.
- Sävel-työryhmä. 2005.** *Sähkölämmitysveron toteuttamiskelpoisuus Suomessa*. Helsinki : Ympäristöministeriö, 2005.
- Takki, Pekka. 2012.** *Kehitysinsinööri*. Helsingin Energia. Helsinki, 21. Helmikuu 2012.
- The German Solar Energy Society. 2007.** *Planning and Installing Solar Thermal Systems, A guide for installers, architects and engineers*. Lontoo : James & James, 2007. ISBN: 978-1-84407-125-8.
- Tiitinen, Mirja. 2007.** *Julkaisun K1 muutokset, Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus*. Helsinki : Energiateollisuus ry, 2007.

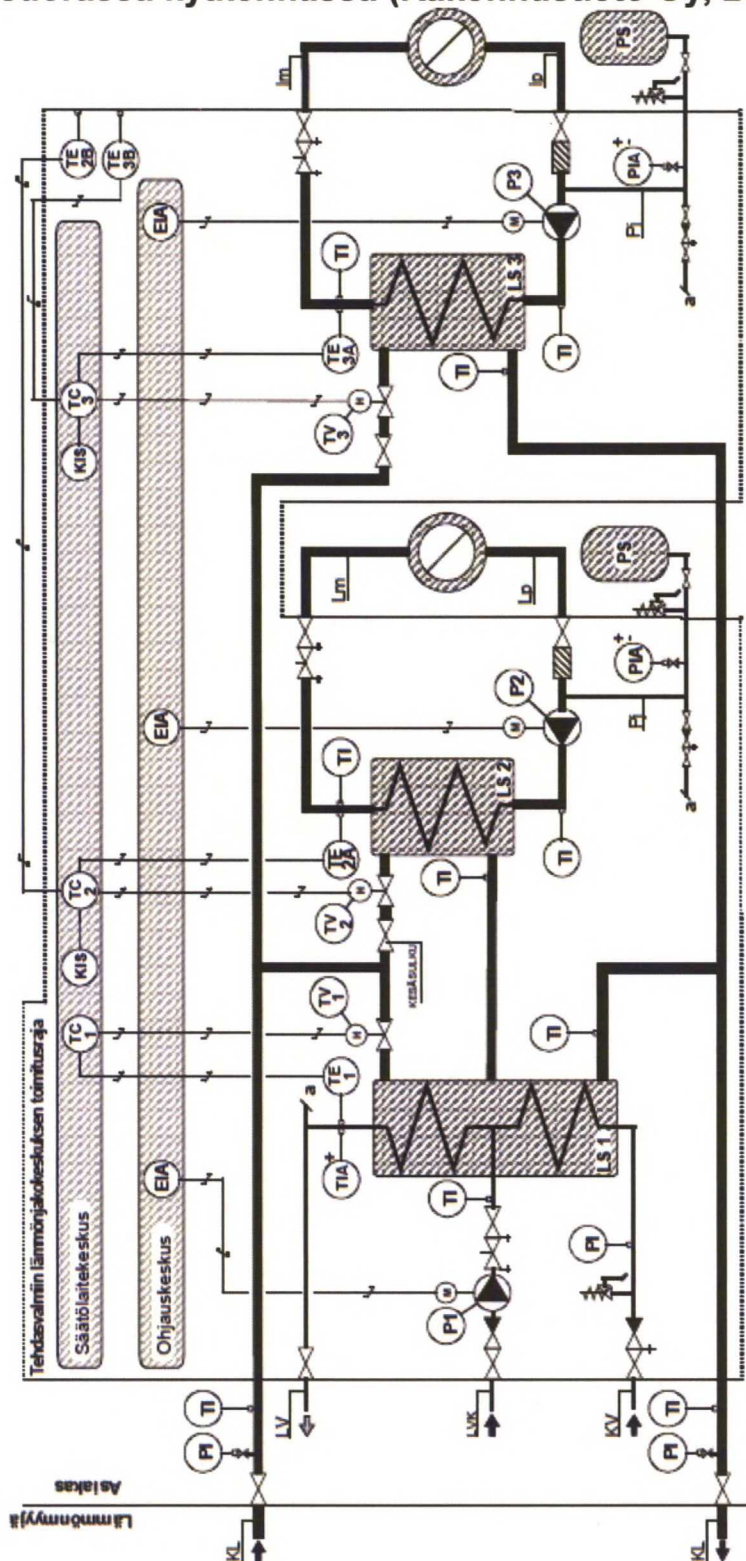
- Tilastokeskus. 2010.** *Suomen virallinen tilasto: Rakennukset ja kesämökit.* Helsinki : Tilastokeskus, 2010. ISSN 1798-677X.
- Toura, Anssi. 2009.** *Kotitalouksien vedenkulutuksen mallintaminen. Diplomityö.* Espoo : Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Energiatekniikan laitos, 2009.
- Wallin, Stefan ja Tengvall, Juhani. 2007.** *D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot, Määräykset ja ohjeet 2007.* Helsinki : Ympäristöministeriö, 2007.
- Vantaan Energia. 2011.** *Kaukolämmön sopimusehdot.* Vantaa : Vantaan Energia, 2011.
- Vapaavuori, Jan ja Ahokas, Raimo. 2010.** *C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten lämmöneristys, Määräykset 2010.* Helsinki : Ympäristöministeriö, 2010.
- Vapaavuori, Jan ja Kalliomäki, Pekka. 2012.** *D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012.* Helsinki : Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, 2012.
- Vapaavuori, Jan. 2008.** *Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta.* Helsinki : s.n., 2008.
- Viessmann Werke GmbH&Co KG. 2011.** *Datenblatt, Vitosol 200-T Vakuum-Röhrenkollektor.* Allendorf : Viessmann Werke GmbH&Co KG, 2011.
- Wikstén, Ralf. 2005.** *Lämpövoimaprosessit.* Helsinki : Oy Yliopistokustannus / Otatieto, 2005. ISBN: 951-672-230-X.
- Virtanen, Kimmo;ym. 2003.** *Suomen turvevarat 2000.* Espoo : Geologian tutkimuskeskus, 2003. ISBN: 951-690-844-6.

**Liite 1: Helsingin Energian asiakkaiden kaukolämmön, kauko-
jäähdytyksen ja sähkön kulutus viikolla 10 vuonna 2012**

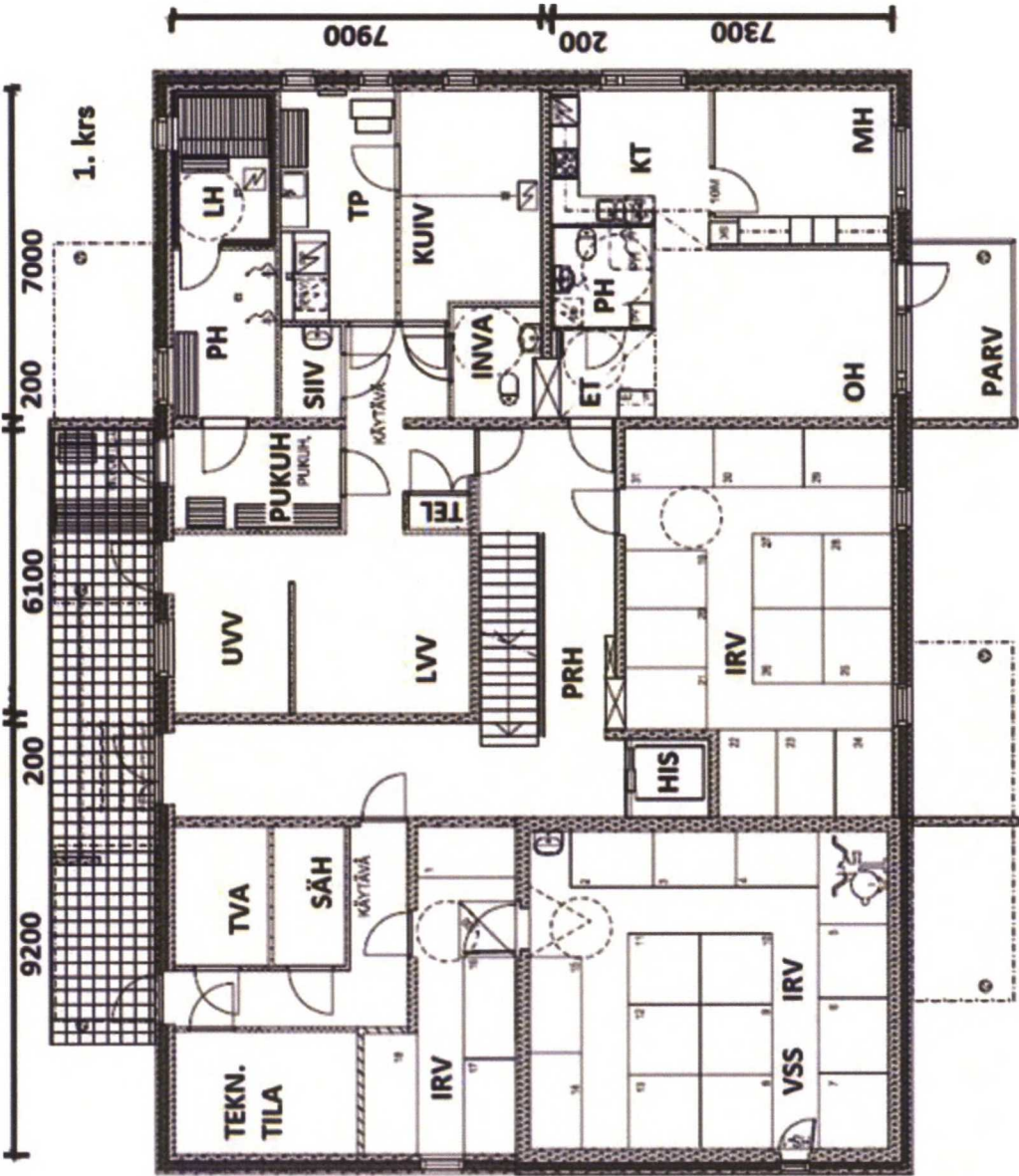


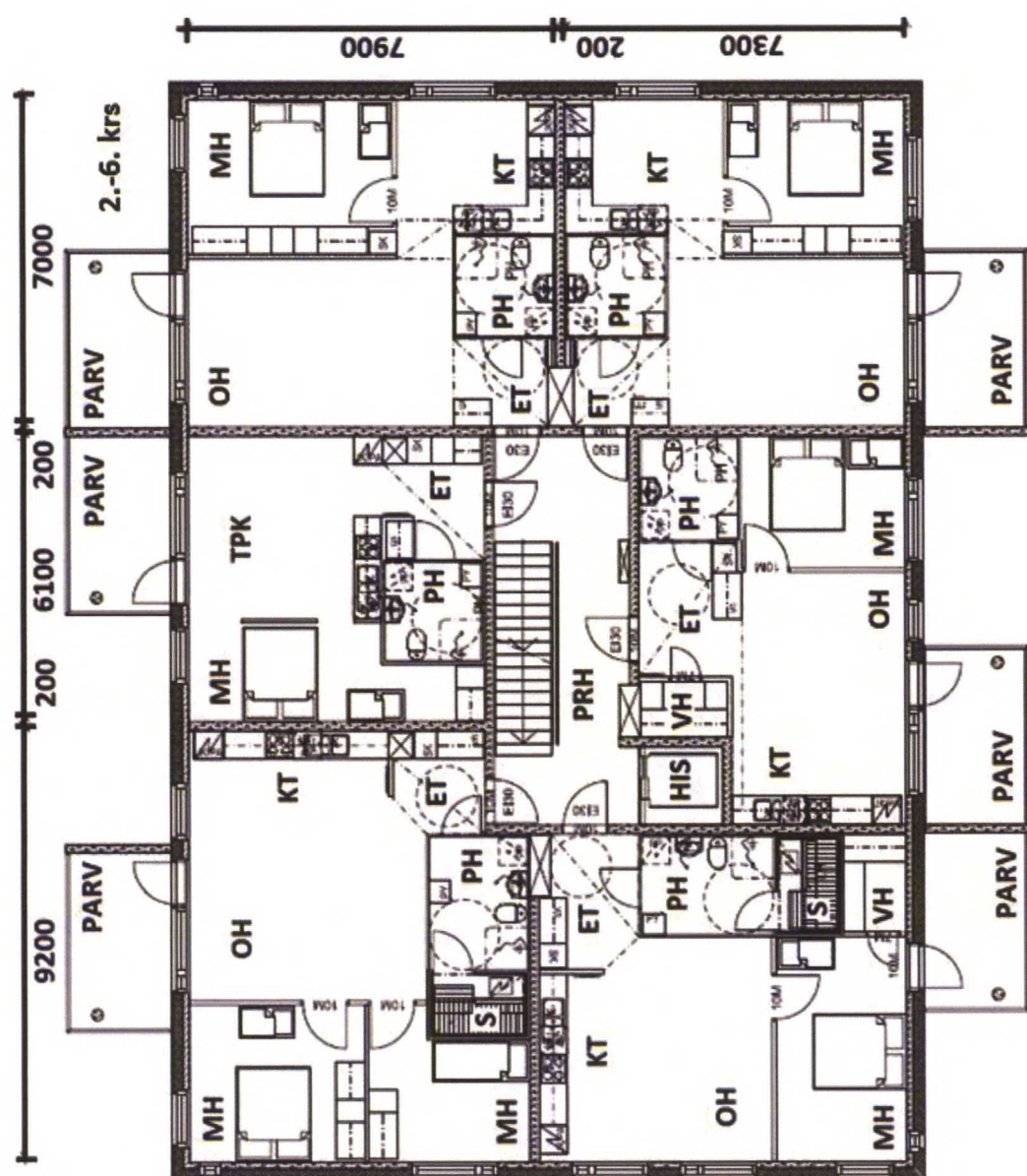


Liite 2: Käyttöveden sekä patteri- ja IV-lämmitysverkoston menoveden lämmityksen kytkentäkaavio kaukolämmön epä-suorassa kytkennässä (Rakennustieto Oy, 2004)

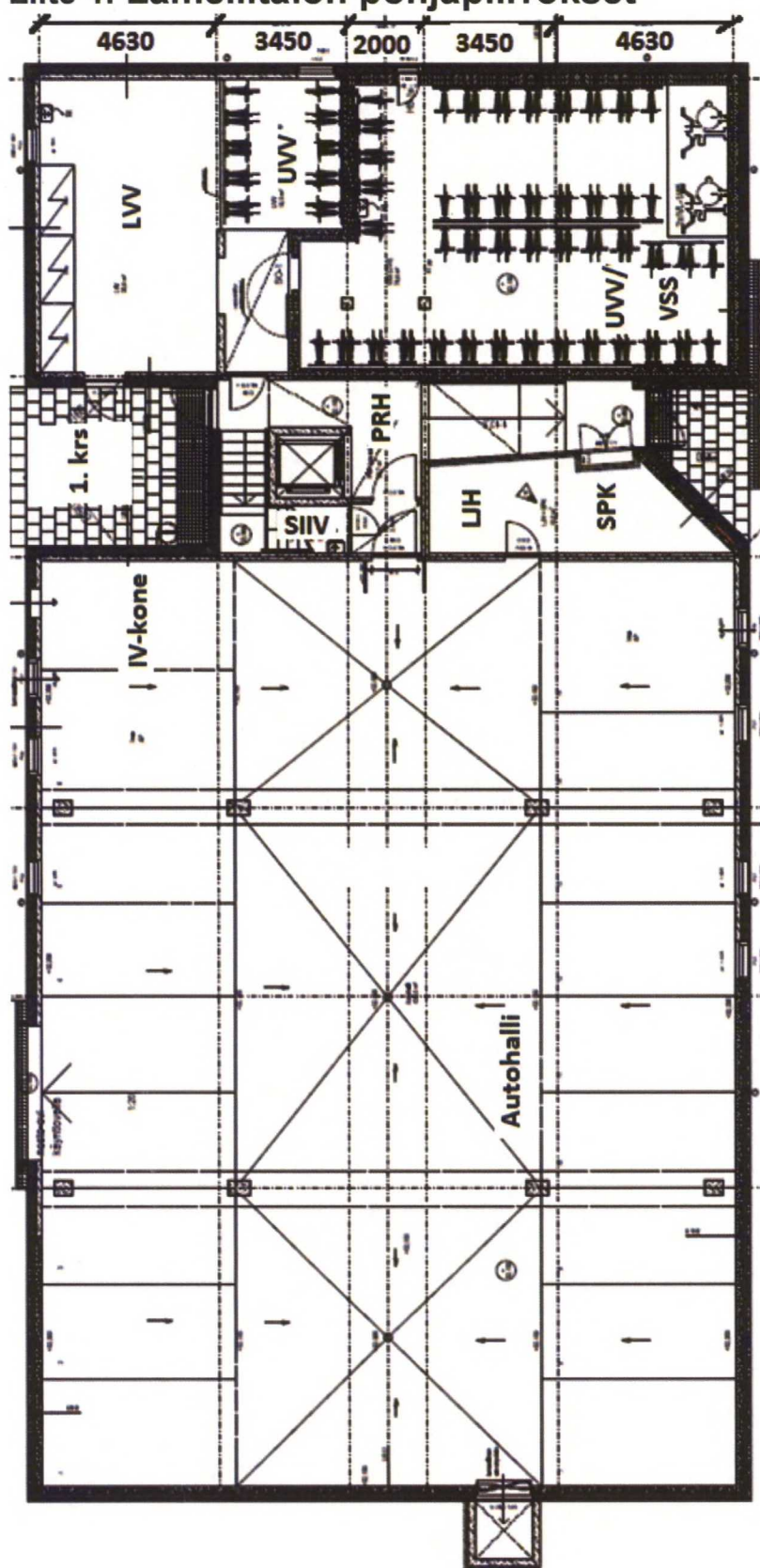


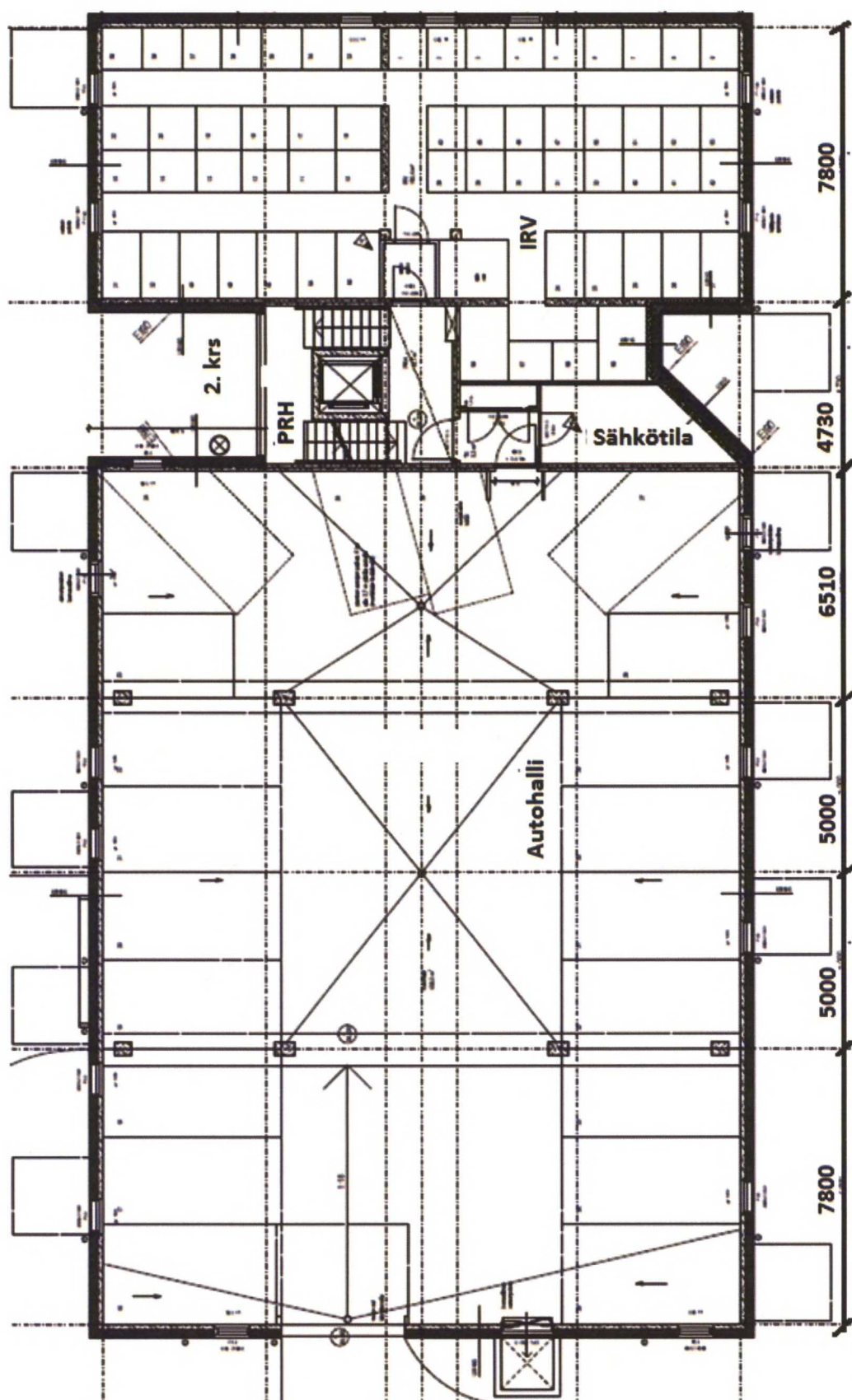
Liite 3: Pistetalon pohjapiirroksset

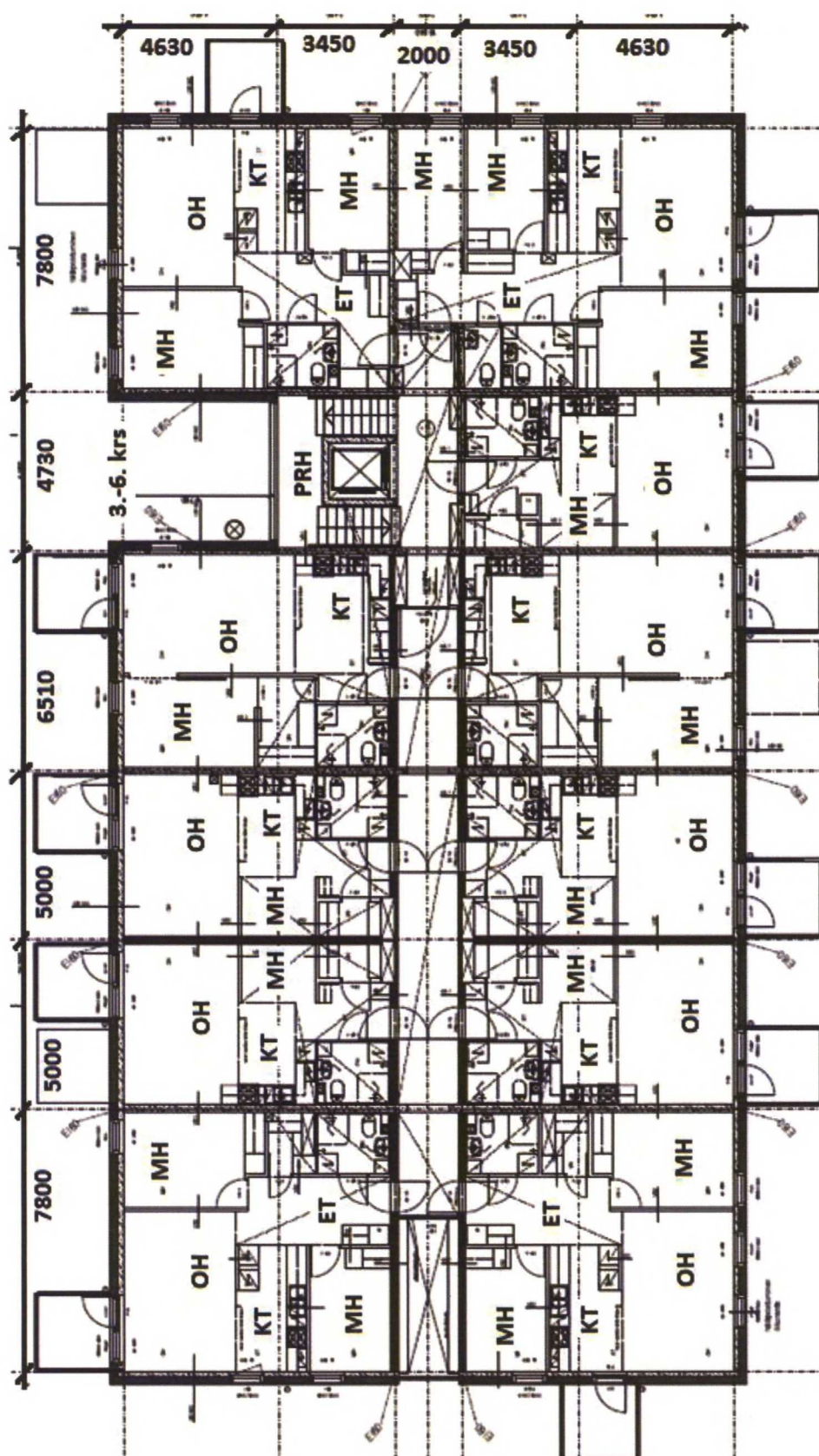


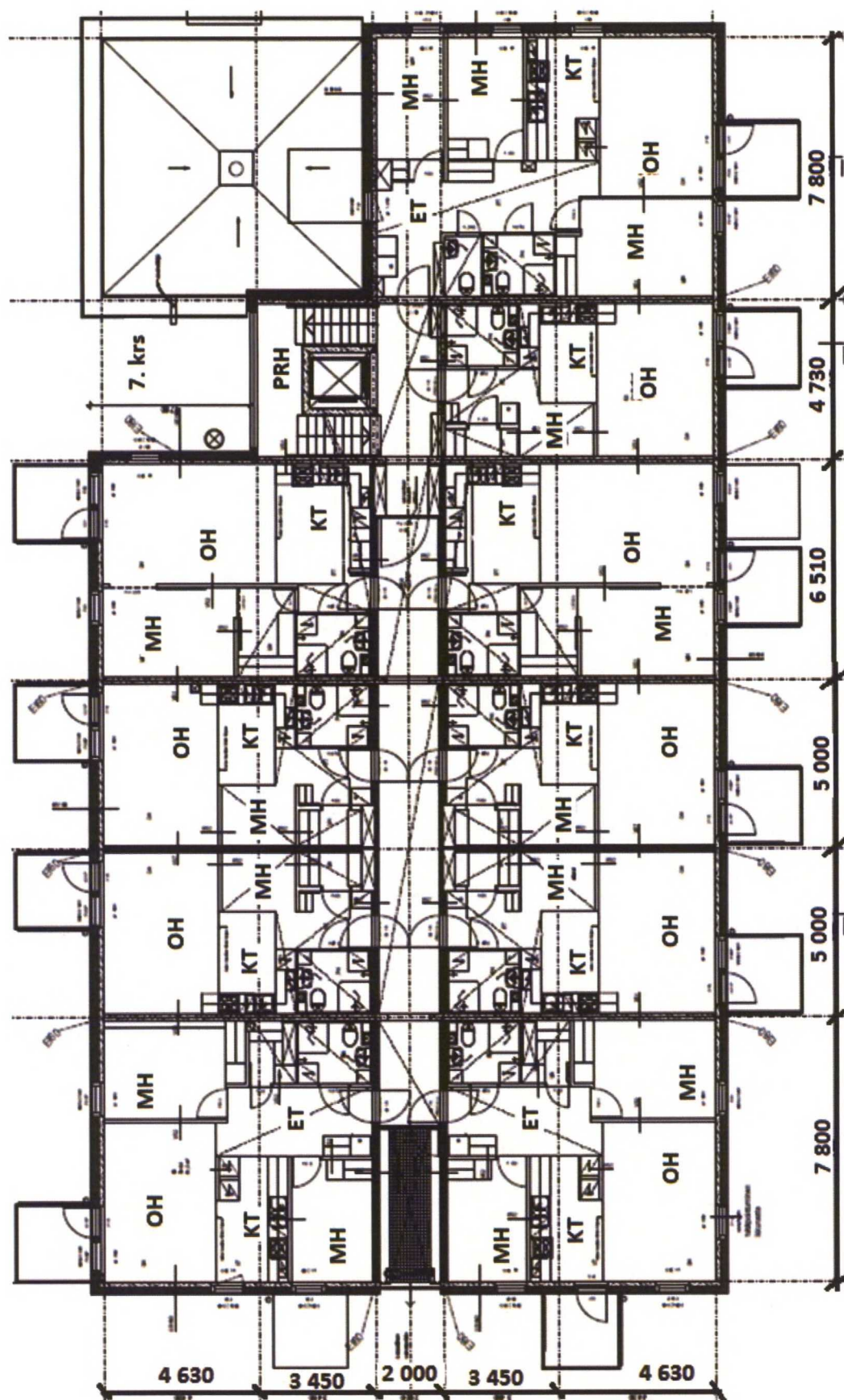


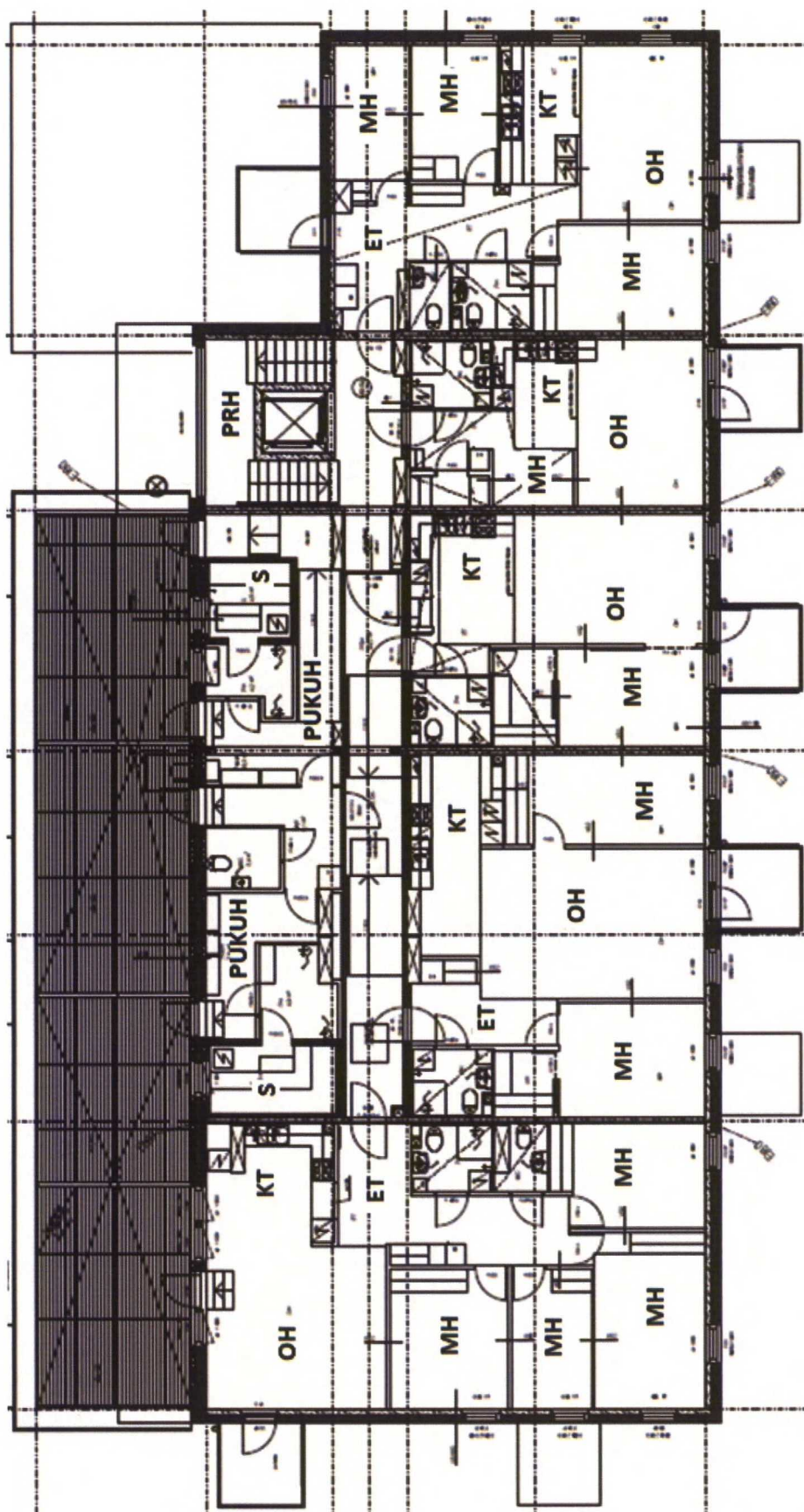
Liite 4: Lamellitalon pohjapiirrokset



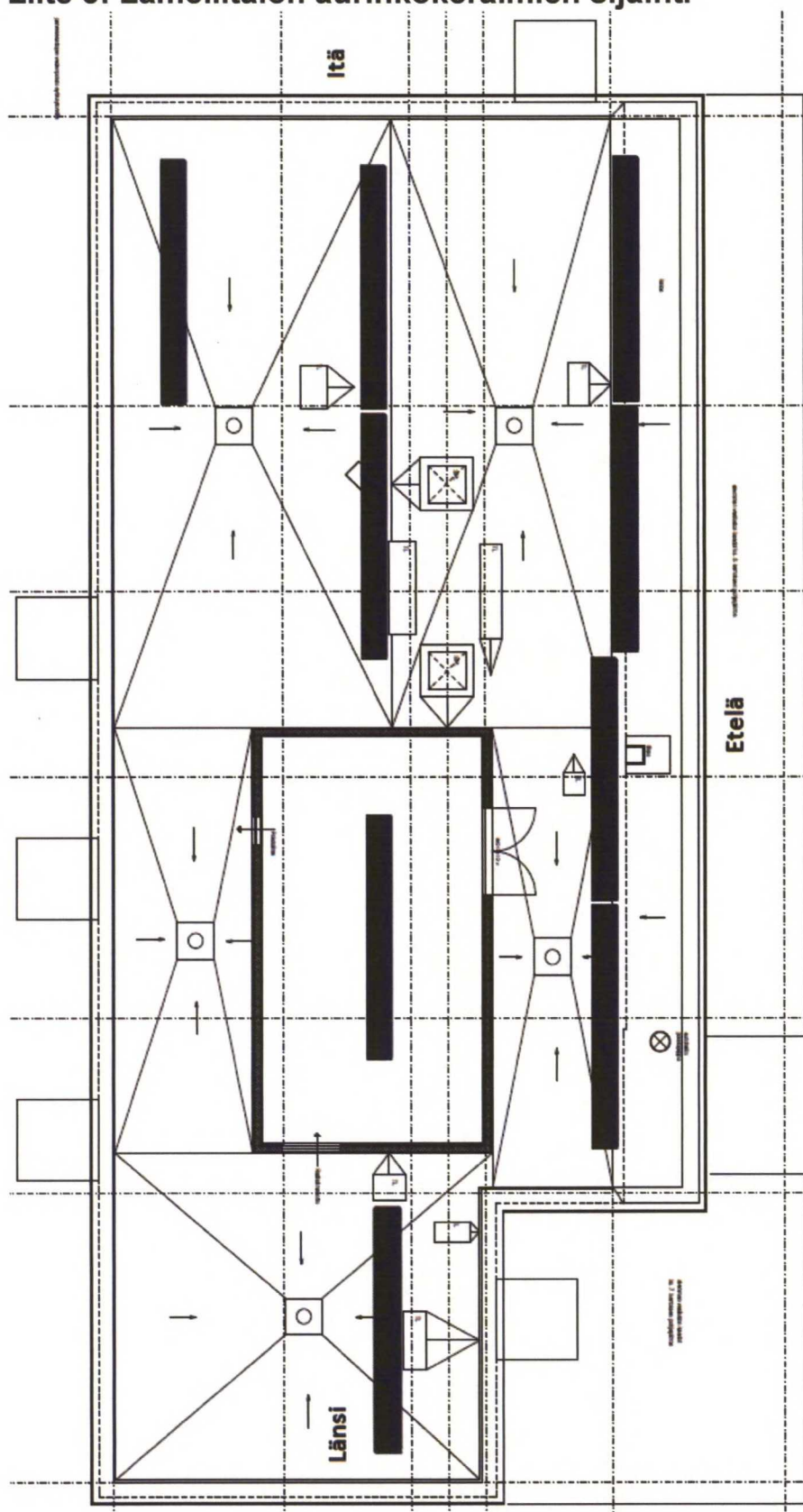




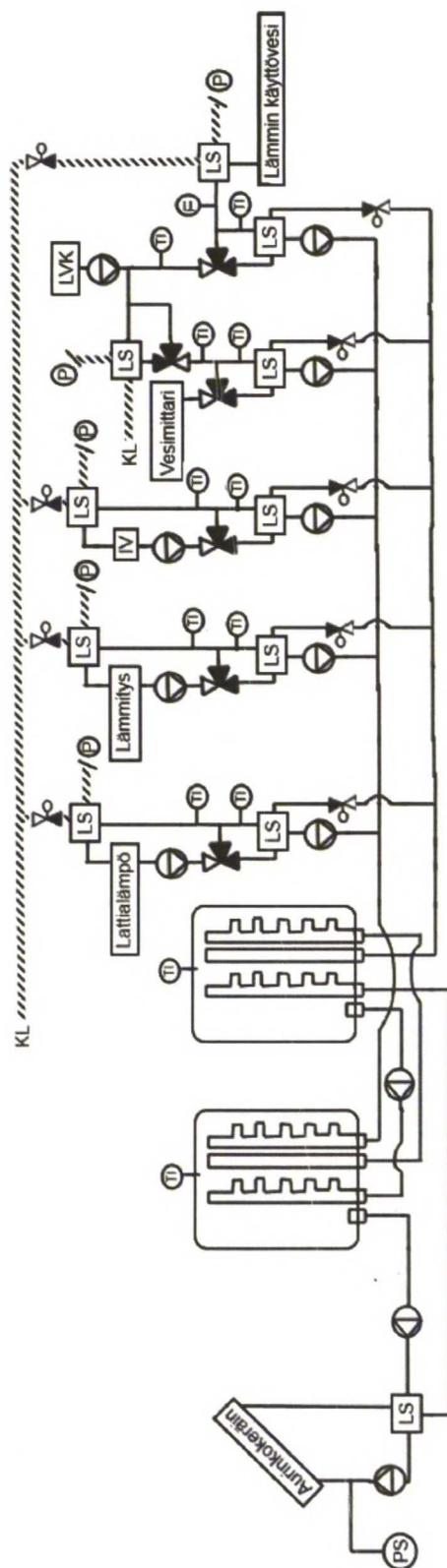




Liite 5: Lamellitalon aurinkokeräimien sijainti



Liite 6: Kahden varaajan integroitu kytkentä, jossa kaikki lämmityskohteet on kytketty varaajiin samalla periaatteella



Liite 7: Simuloinneissa käytetyt komponentit

Taulukko 7.1. Simuloinneissa käytetyt komponentit.

Komponentti ja sitä vastaava TRNSYS-komponentti		Keskeisimmät arvot ja kuvaus
Pumppu	Type 3d	Komponenttia käytetty muun muassa lattialämmityspiirin ja aurinkolämpöpiirin kiertopumppuna sekä eri kulutuskohteiden aurinkolämpöpumppuna. Kaikille komponentille annettu arvoiksi vain pumpusta tarvittu virtaama ja pumpun tehoiksi laitettu aina 1 W, jotta on saatu selville pumppujen käyntiaika.
Pumppu	Type 110	Komponenttia käytetty lämpimän käyttöveden jälkilämmityspumppuna varaavassa kaukolämpökytkennässä. Pumpun maksimivirtaamaksi annettu käyttöveden maksimivirtaama ja virtaamaa säädetty käyttöveden virtaamaa vastaavaksi.
T-kappale	Type 11h	Käytetty virtaamien yhdistämiseen, kuten lämmönsiirtimiltä palaavien kaukolämpövirtojen.
Käyttöveden 1. lämmönsiirrin	Type 652	Siirtimen hyötysuhde 0,9 ja käyttöveden lämpötila 10 °C. Saa käyttöveden kulutuksen vesimittarilta sekä kaukolämpöveden lämpötilan ja virtaaman muilta lämmönsiirtimiltä.
Käyttöveden 2. lämmönsiirrin	Type 652	Siirtimen hyötysuhde 0,9 ja kaukolämpöveden lämpötila 70 °C. Saa käyttövedenkulutuksen ja -lämpötilan lämpimän käyttöveden kierron ja esilämmitetyn käyttöveden sekoittavalta T-kappaleelta.
Lattialämmityksen lämmönsiirrin	Type 652	Siirtimen hyötysuhde 0,9, lattialämpöveden tulolämpötila 25 °C ja menolämpötila 35 °C, kaukolämpöveden tulolämpötila 75 °C ja virtaama 0,033 kg/s, mutta vain lämmönsiirtimen kautta otettu kaukolämpövesi johdetaan ensimmäiselle käyttöveden siirtimelle.
Tilojen lämmityksen lämmönsiirrin	Type 652	Siirtimen hyötysuhde 0,9, tilojen lämmityspiirin kiertoveden tulolämpötila 40 °C ja menolämpötila 70 °C, kaukolämpöveden tulolämpötila 75 °C ja virtaama sama kuin lämmitettävä virtaama, mutta vain lämmönsiirtimen kautta otettu kaukolämpövesi johdetaan ensimmäiselle käyttöveden siirtimelle.
IV-lämmönsiirrin	Type 652	Siirtimen hyötysuhde 0,6, kaukolämpöveden tulolämpötila 75 °C ja virtaama on asetettu riittävän suureksi, jotta ilmanvaihtoilman tulolämpötila pysyy samana ympäri vuoden, mutta vain lämmönsiirtimen kautta otettu kaukolämpövesi johdetaan ensimmäiselle käyttöveden siirtimelle.

Vuotoilman apulämmönsiirrin	Type 652	Siirtimen hyötysuhde 0,9, kaukolämpöveden tulolämpötila 75 °C ja virtaama on asetettu riittävän suureksi, jotta vuotoilma lämpenee keskimääräiseen sisälämpötilaan. Käytetään selvittämään, kuinka paljon lämmitystehoa rakennuksen vuotoilma tarvitsee ja lisätään se rakennuksen lämmöntarpeeseen.
Vesimittari	Type 14b	Komponentille ilmoitettu käyttöveden kulutus vuorokaudessa tunnin tarkkuudella. Ilmoitetut vesimäärät on esitetty luvussa 3.1. Vesimittaria käytetty ilmoittamaan käyttöveden lämmönsiirtimelle kulloinkin käyttöveden kulutus.
Sää	Type 15	Komponentille asetettu säätiedoiksi Helsinki-Vantaan säätiedot. Käytetty auringonsäteilytietojen antamiseen aurinkokeräimenkomponentille sekä lämpötilatietojen antamiseen vuotoilman lämmönsiirtimelle, rakennuksen lämmöntarvekomponentille ja lämmöntalteenoton komponentille.
Rakennus	Type 12a	Käytetään rakennuksen lämmitystehon laskentaan. Komponentille annettavat kuormat, rakennuksen häviökerroin ja sisälämpötila on esitetty luvussa 3.1.
Aurinkokeräin	Type 73	Keräimen hyötysuhde 0,82, keräimen pohjan häviökerroin 0,83 W/(m ² K), absorptiosuhde 0,95, absorptiolevyn emissiivisyys 0,05 ja kallistuskulma 45°.
Varaaja	Type 4c	Korkeus 1,8 m, kerroksia 6 kpl, häviökerroin 0,88 W/(m ² K) ja ympäristön lämpötila kunkin rakennuksen keskimääräinen sisälämpötila. Käytetty niin aurinko- kuin kaukolämpövaraajana. Kaukolämpövaraajana kaukolämpöveden tulolämpötila varaajaan 75 °C.
Pumpun säädin	Type 2-Aquas-tatC	Pumpun pysähtyy, jos lämmitettävä nestevirta saavuttaa asetuslämpötilansa tai varaajasta ei saada riittävän lämmintä vettä. Pumppu vastavasti käynnistyy, jos varaajasta saadaan riittävän lämmintä vettä kyseisen nestevirran lämmittämiseen.
Aurinkolämpöpumpun säädin	Type 2b	Pumpun pysähtyy, jos varaajan yläosan lämpötila ylittää 80 °C tai aurinkokeräimistä ei saada varaajan alaosaan lämpöisempää vettä. Pumppu vastavasti käynnistyy, jos aurinkokeräimistä saadaan varaajan alaosaan lämpöisempää vettä.
Lämmöntalteenotto	Type 667b	Hyötysuhde 0,6. Käytetään rakennuksen lämmöntalteenottolaitteen mallintamiseen. Ilmavirtojen suuruudet ja lämpötilat on esitetty luvussa 3.1 ja komponentin tarvitsemat säätiedot on saatu sääkomponentilta.

Liite 8: Pistetalon simuloinnin tulokset kuukauden tarkkuudella eri kytkennöille

Taulukko 8.1. Pistetalon kaukolämmön peruskytkennän simuloinnin tulokset.

	KL paluu- lämpötila (°C)	KL virtaama (l/h)	KL energian- kulutus (kWh)	CO ₂ -päästöt (kg)	Energian hinta (€)
Tammikuu	39,2	768,8	22 563,4	7 089	1 433
Helmikuu	39,1	780,2	20 734,0	6 515	1 316
Maaliskuu	39,3	696,4	20 260,8	6 366	1 286
Huhtikuu	39,3	612,2	17 091,1	4 124	1 085
Toukokuu	39,2	540,7	15 540,8	3 750	987
Kesäkuu	39,0	508,7	14 186,8	1 135	901
Heinäkuu	38,8	495,7	14 321,9	1 146	909
Elokuu	38,9	507,6	14 632,6	1 171	929
Syyskuu	39,2	534,1	14 841,4	3 581	942
Lokakuu	39,4	574,7	16 516,2	3 985	1 049
Marraskuu	39,4	646,3	18 086,1	5 683	1 148
Joulukuu	39,3	722,9	21 097,1	6 629	1 339
Vuosi	39,2	614,8	209 872,1	51 173	13 325
Maksimi	44,6	1 226,5			

Taulukko 8.2. Pistetalon lämpimän käyttövedenkierron ja kylmän käyttöveden esisekoituksella varustetun kaukolämpökytkennän simuloinnin tulokset.

	KL paluu- lämpötila (°C)	KL virtaama (l/h)	KL energian- kulutus (kWh)	CO ₂ -päästöt (kg)	Energian hinta (€)
Tammikuu	44,1	914,2	22 564,8	7 090+0	1 433
Helmikuu	44,0	925,7	20 735,8	6 515+0	1 317
Maaliskuu	44,7	846,4	20 263,9	6 367+0	1 287
Huhtikuu	45,5	767,8	17 093,3	4 125+81	1 085
Toukokuu	46,2	700,6	15 542,1	3 750+83	987
Kesäkuu	46,4	670,2	14 188,0	1 135+80	901
Heinäkuu	46,4	657,9	14 323,1	1 146+83	909
Elokuu	46,4	669,2	14 634,1	1 171+84	929
Syyskuu	46,2	694,2	14 842,8	3 582+79	942
Lokakuu	45,9	732,3	16 518,4	3 986+82	1 049
Marraskuu	45,2	799,0	18 087,9	5 683+0	1 148
Joulukuu	44,5	871,0	21 099,2	6 629+0	1 340
Vuosi	45,5	769,8	209 893,3	51 179+573	13 326
Maksimi	47,6	1 421,7			

Taulukko 8.3. Pistetalon varaajalla varustetun kaukolämpökytkennän simuloinnin tulokset.

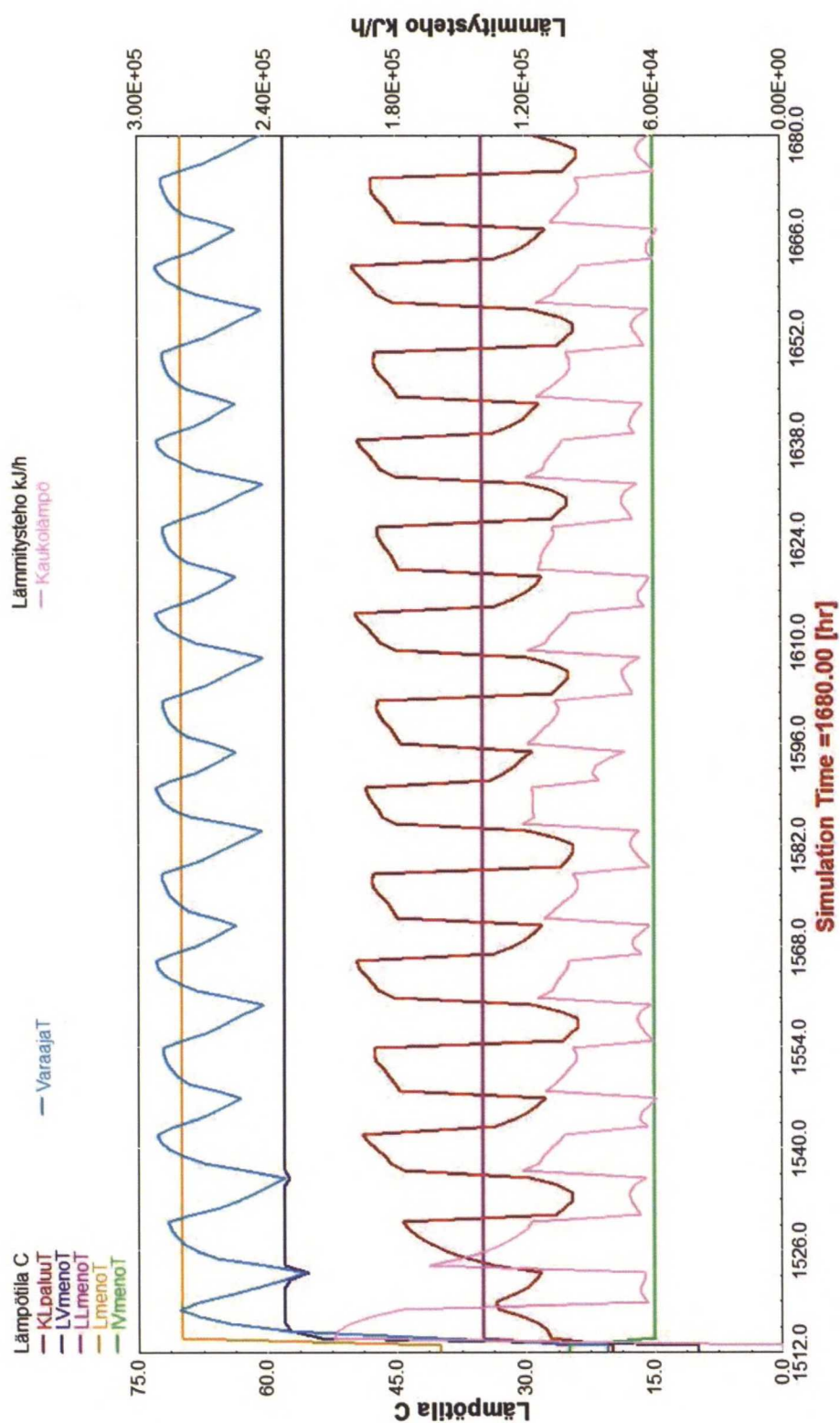
	KL paluu- lämpötila (°C)	KL virtaama (l/h)	KL energian- kulutus (kWh)	CO ₂ -päästöt (kg)	Energian hintaa (€)
Tammikuu	38,2	807,8	23 181,1	7 284+0	1 472
Helmikuu	38,1	819,2	21 313,2	6 697+0	1 353
Maaliskuu	37,9	739,9	20 884,6	6 562+0	1 326
Huhtikuu	37,0	661,3	17 701,5	4 271-31	1 124
Toukokuu	35,8	594,1	16 166,4	3 901-42	1 026
Kesäkuu	35,1	563,7	14 794,0	1 184-45	939
Heinäkuu	34,9	551,4	14 930,4	1 194-45	948
Elokuu	35,2	562,7	15 254,1	1 220-44	968
Syyskuu	35,8	587,7	15 452,6	3 729-41	981
Lokakuu	36,6	625,9	17 140,4	4 136-37	1 088
Marraskuu	37,5	692,6	18 691,1	5 873+0	1 187
Joulukuu	38,0	764,6	21 713,6	6 822+0	1 379
Vuosi	36,9	663,4	215 127,1	52 873-285	13 791
Maksimi	53,8	1 463,7			

Taulukko 8.4. Pistetalon yhdellä varaajalla varustetun integroidun kytkennän simuloinnin tulokset.

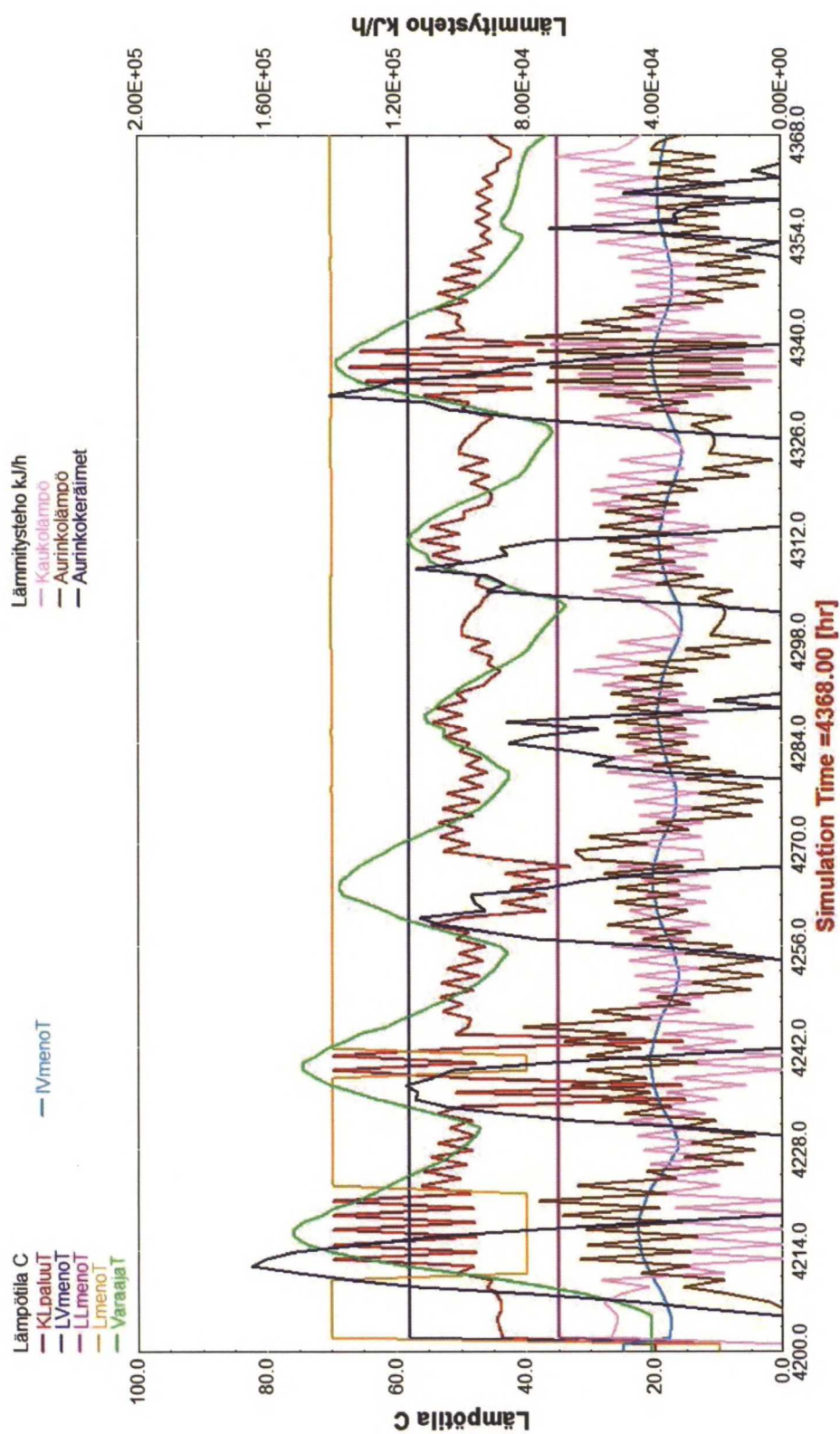
	KL paluu- läm- pötila (°C)	KL virtaa- ma (l/h)	KL ener- gianku- lutus (kWh)	AL ener- gianku- lutus (kWh)	AL osuus (%)	CO ₂ -päästöt (kg)	Ener- gian hintaa (€)
Tammi	39,2	768,7	22566,9	0,0	0,0	7091+0	1433
Helmi	39,4	776,6	20500,0	235,7	1,1	6441+0	1302
Maalis	40,8	663,6	18506,7	1757,5	8,7	5815+0	1175
Huhti	43,4	541,0	13318,7	3780,7	22,1	3214+42	846
Touko	46,5	432,4	9778,7	5768,6	37,1	2360+55	621
Kesä	47,4	374,1	7872,8	6320,9	44,5	630+50	500
Heinä	47,3	377,1	8181,9	6148,0	42,9	655+53	519
Elo	45,2	420,1	9833,8	4804,0	32,8	787+47	624
Syys	43,1	498,4	12305,0	2538,6	17,1	2969+37	781
Loka	40,6	569,4	15764,3	755,2	4,6	3804+15	1001
Marras	39,4	646,3	18090,1	0,0	0,0	5684+0	1149
Joulu	39,3	722,9	21100,2	0,0	0,0	6630+0	1340
Vuosi	42,7	564,4	177621,5	32306,9	15,4	46078+299	11290
Mak- simi	70,2	1 226,7					

Taulukko 8.5. Pistetalon kahdella varaajalla varustetun integroidun kytkennän simuloinnin tulokset.

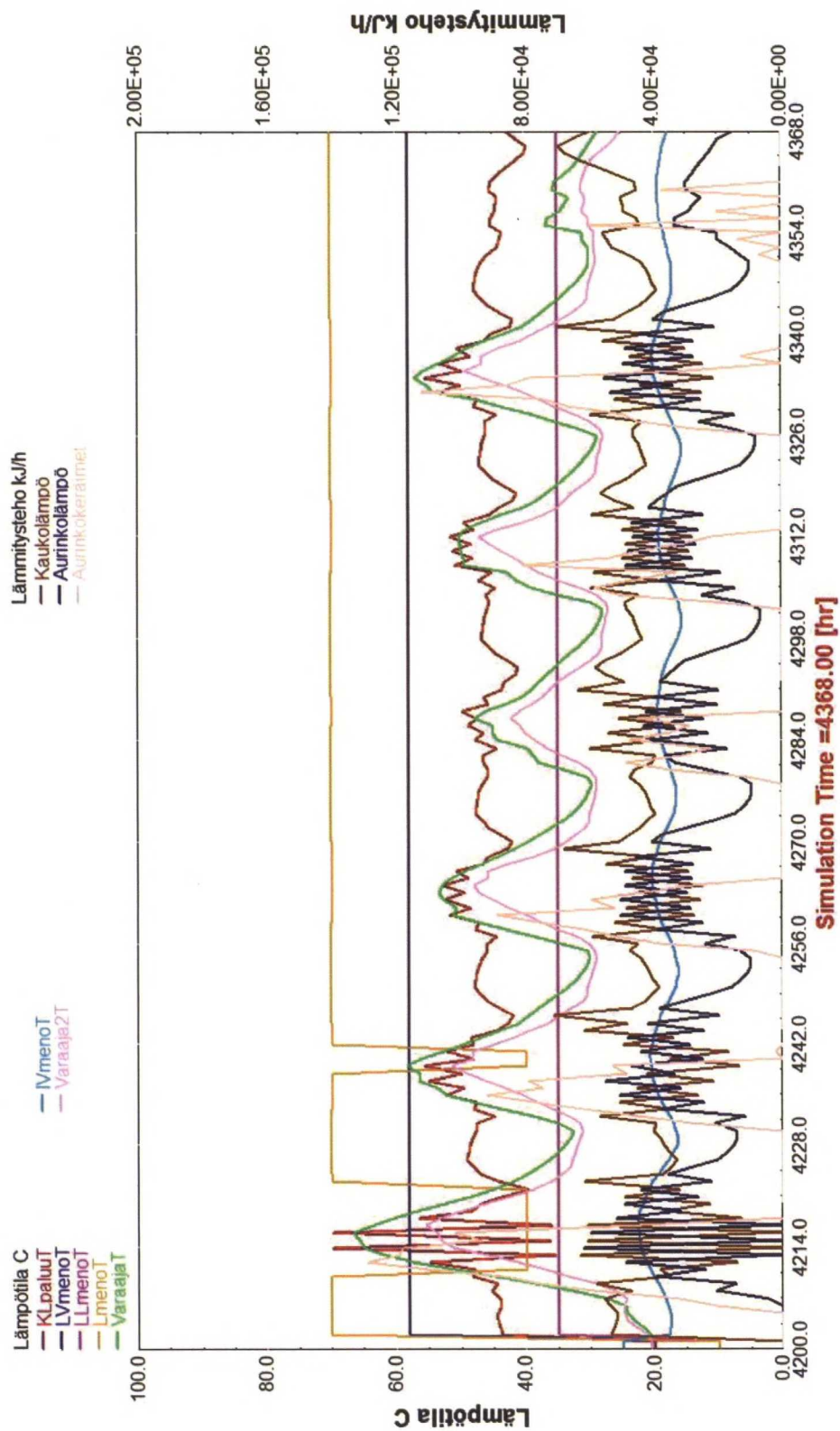
	KL paluu- läm- pötila (°C)	KL virtaa- ma (l/h)	KL ener- gianku- lutus (kWh)	AL ener- gianku- lutus (kWh)	AL osuus (%)	CO ₂ -päästöt (kg)	Ener- gian hintaa (€)
Tammi	39,2	768,7	22568,2	0,0	0,0	7091+0	1433
Helmi	39,4	776,6	20511,7	224,4	1,1	6445+0	1302
Maalis	40,9	655,3	18219,8	2046,8	10,1	5725+0	1157
Huhti	43,0	533,1	13221,8	3876,3	22,7	3190+38	839
Touko	45,4	460,6	10775,6	4770,5	30,7	2600+51	684
Kesä	46,4	414,7	9026,7	5163,6	36,4	722+51	573
Heinä	45,7	404,3	9186,4	5137,2	35,9	735+48	583
Elo	44,7	437,1	10428,1	4205,5	28,7	834+46	662
Syys	42,8	501,3	12437,6	2404,6	16,2	3001+34	790
Loka	40,9	567,6	15556,6	966,5	5,8	3754+18	988
Marras	39,4	646,4	18094,3	0,0	0,0	5685+0	1149
Joulu	39,3	723,0	21103,0	0,0	0,0	6631+0	1340
Vuosi	42,3	572,7	180880,9	29043,2	13,8	46413+287	11500
Mak- simi	70,0	1 208,0					



Kuva 8.1. Pistetalon varaajalla varustetun kaukolämpökytkennän viikon 10 simuloinnin kuvaaja.



Kuva 8.2. Pistetalon yhdellä varaajalla varustetun integroidun kytkennän simuloinnin kuvaaja viikolta 26.



Kuva 8.3. Pistetalon kahdella varaajalla varustetun integroidun kytkennän simuloinnin kuvaaja viikolta 26.

Liite 9: Lamellitalon simuloinnin tulokset kuukauden tarkkuudella eri kytkennöille

Taulukko 9.1. Lamellitalon kaukolämmön peruskytkennän simuloinnin tulokset.

	KL paluu- lämpötila (°C)	KL virtaama (l/h)	KL energian- kulutus (kWh)	CO ₂ -päästöt (kg)	Energian hintaa (€)
Tammikuu	40,2	1 545,2	43 733,6	13 741	2 777
Helmikuu	40,0	1 550,3	39 779,6	12 499	2 526
Maaliskuu	39,9	1 339,5	37 700,7	11 846	2 394
Huhtikuu	39,5	1 082,3	29 388,7	7 091	1 866
Toukokuu	39,3	912,5	25 570,3	6 170	1 623
Kesäkuu	39,3	873,0	23 680,8	1 894	1 503
Heinäkuu	39,2	864,2	24 242,3	1 939	1 539
Elokuu	39,3	873,1	24 473,6	1 958	1 554
Syyskuu	39,4	898,7	24 349,0	5 875	1 546
Lokakuu	39,5	975,8	27 333,4	6 596	1 735
Marraskuu	39,9	1 182,8	32 114,8	10 090	2 039
Joulukuu	40,0	1 400,7	39 524,7	12 419	2 509
Vuosi	39,6	1 122,6	371 891,5	92 119	23 611
Maksimi	46,6	2 590,5			

Taulukko 9.2. Lamellitalon kylmän käyttöveden ja lämpimän käyttöveden kierron esisekoituksella varustetun kaukolämpökytkennän simuloinnin tulokset.

	KL paluu- lämpötila (°C)	KL vir- taama (l/h)	KL energian- kulutus (kWh)	CO ₂ -päästöt (kg)	Energian hintaa (€)
Tammikuu	45,4	1 871,7	43 736,5	13 742+0	2 777
Helmikuu	45,4	1 878,4	39 784,9	12 500+0	2 526
Maaliskuu	46,1	1 678,0	37 708,0	11 848+0	2 394
Huhtikuu	47,2	1 437,6	29 394,1	7 093+173	1 866
Toukokuu	48,1	1 280,6	25 569,7	6 170+172	1 623
Kesäkuu	48,3	1 244,0	23 678,5	1 894+163	1 503
Heinäkuu	48,4	1 235,8	24 239,5	1 939+170	1 539
Elokuu	48,3	1 244,1	24 470,8	1 958+168	1 554
Syyskuu	48,2	1 267,4	24 345,8	5 875+164	1 546
Lokakuu	47,7	1 337,8	27 336,3	6 596+171	1 736
Marraskuu	46,8	1 529,9	32 120,6	10 092+0	2 039
Joulukuu	45,9	1 735,0	39 529,6	12 420+0	2 510
Vuosi	47,2	1 476,3	371 914,3	92 128+1 180	23 613
Maksimi	49,7	3 036,3			

Taulukko 9.3. Varaajalla varustetun kaukolämpökytkennän simuloinnin tulokset.

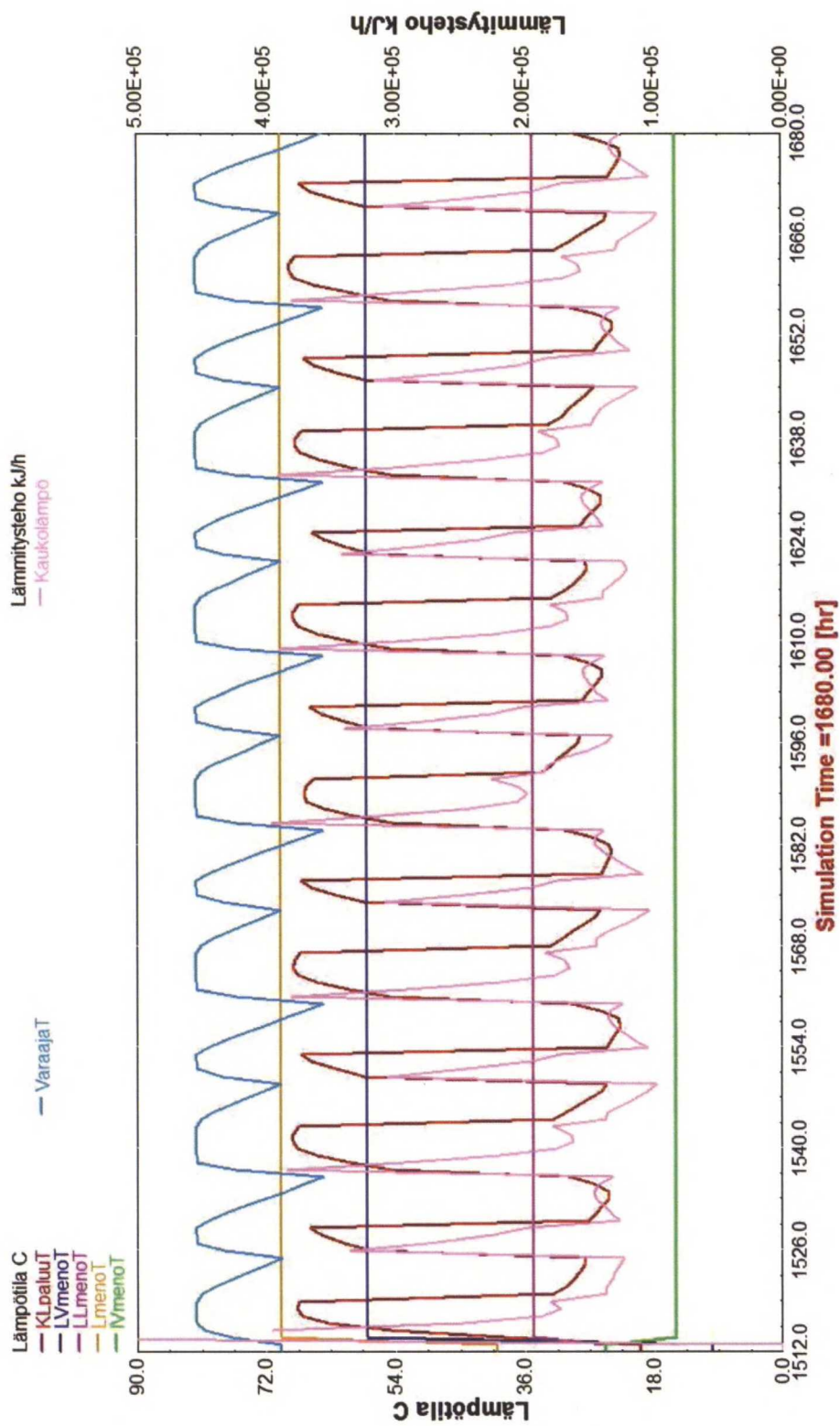
	KL paluu- lämpötila (°C)	KL vir- taama (l/h)	KL energian- kulutus (kWh)	CO ₂ -päästöt (kg)	Energian hintaa (€)
Tammikuu	43,7	2 230,5	44 535,0	13 993+0	2 828
Helmikuu	43,1	2 237,3	40 520,0	12 731+0	2 573
Maaliskuu	41,9	2 036,9	38 496,6	12 096+0	2 444
Huhtikuu	39,1	1 796,6	30 161,4	7 278-9	1 915
Toukokuu	37,5	1 639,7	26 325,3	6 352-37	1 671
Kesäkuu	37,4	1 603,4	24 392,0	1 951-36	1 549
Heinäkuu	37,4	1 595,2	24 950,3	1 996-35	1 584
Elokuu	37,4	1 603,4	25 203,7	2 016-37	1 600
Syyskuu	37,6	1 626,6	25 085,9	6 053-35	1 593
Lokakuu	38,3	1 696,8	28 107,8	6 782-26	1 785
Marraskuu	40,8	1 888,8	32 896,6	10 336+0	2 089
Joulukuu	42,5	2 093,9	40 326,7	12 671+0	2 560
Vuosi	39,8	1 835,3	379 293,4	94 256-214	24 190
Maksimi	74,7	3 445,7			

Taulukko 9.4. Lamellitalon yhdellä varaajalla varustetun integroidun kytkennän simuloinnin tulokset.

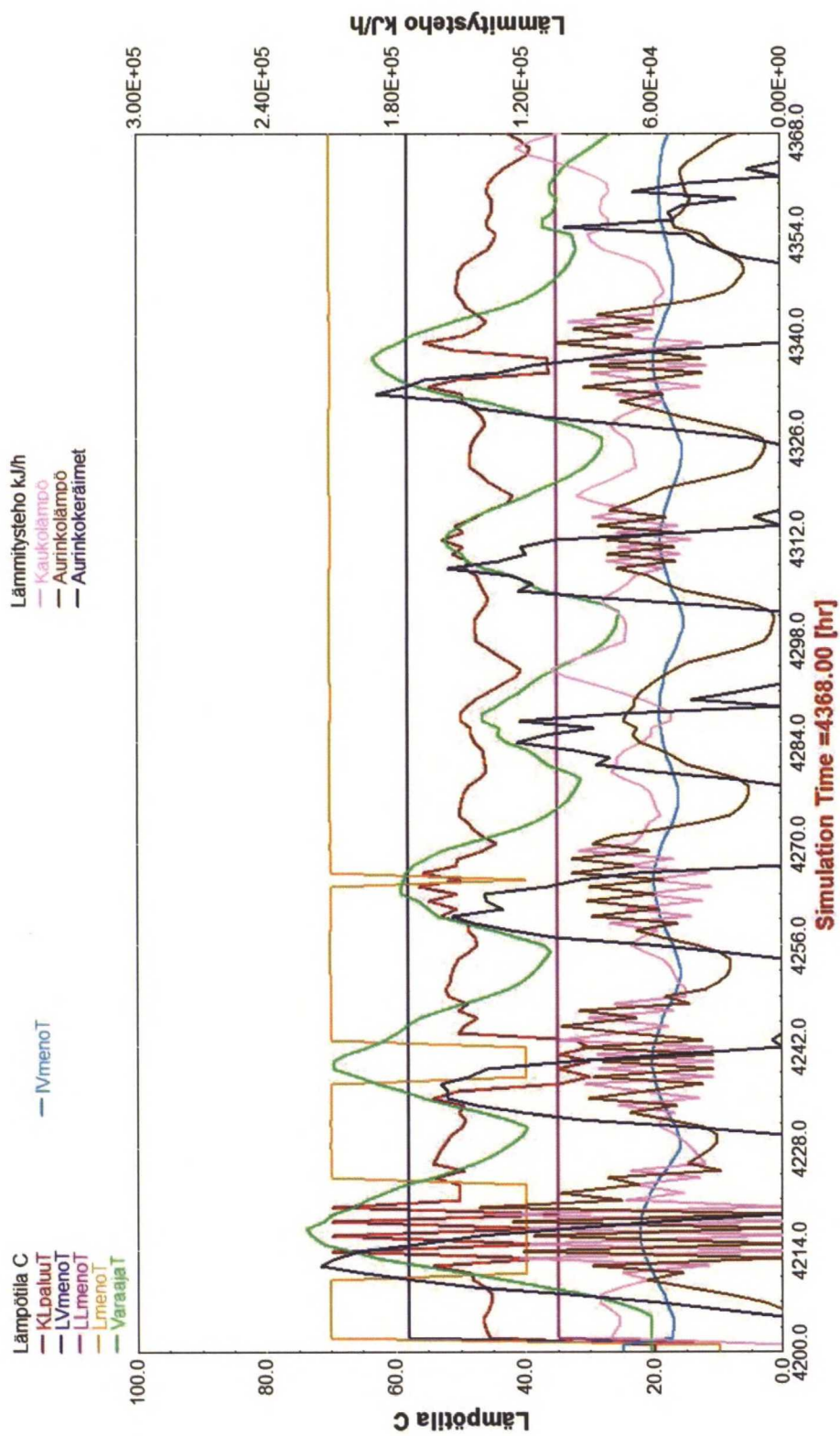
	KL paluu- läm- pötila (°C)	KL vir- taa- ma (l/h)	KL ener- gianku- lutus (kWh)	AL ener- gianku- lutus (kWh)	AL osuus (%)	CO ₂ -päästöt (kg)	Ener- gian hintaa (€)
Tammi	40,2	1545,0	43732,8	0,0	0,0	13741+0	2777
Helmi	40,1	1544,5	39496,6	282,6	0,7	12410+0	2508
Maalis	41,2	1295,5	35268,5	2428,0	6,4	11081+0	2239
Huhti	42,9	984,7	24134,4	5249,6	17,9	5824+63	1532
Touko	46,1	769,4	17095,9	8474,4	33,1	4125+89	1085
Kesä	46,6	697,1	14321,2	9357,6	39,5	1146+80	909
Heinä	46,7	709,7	15092,8	9149,1	37,7	1207+87	958
Elo	45,1	769,3	17573,0	6893,6	28,2	1406+78	1116
Syys	42,5	853,8	20881,0	3460,9	14,2	5039+50	1326
Loka	40,4	966,8	26383,2	952,0	3,5	6366+18	1675
Marras	39,9	1182,8	32118,5	0,0	0,0	10092+0	2039
Joulu	40,0	1400,7	39526,1	0,0	0,0	12419+0	2510
Vuosi	42,7	1057,1	325484,1	46387,2	12,5	84855+464	20674
Mak- simi	70,0	2588,9					

Taulukko 9.5. Lamellitalon kahdella varaajalla varustetun integroidun kytkennän simuloinnin tulokset.

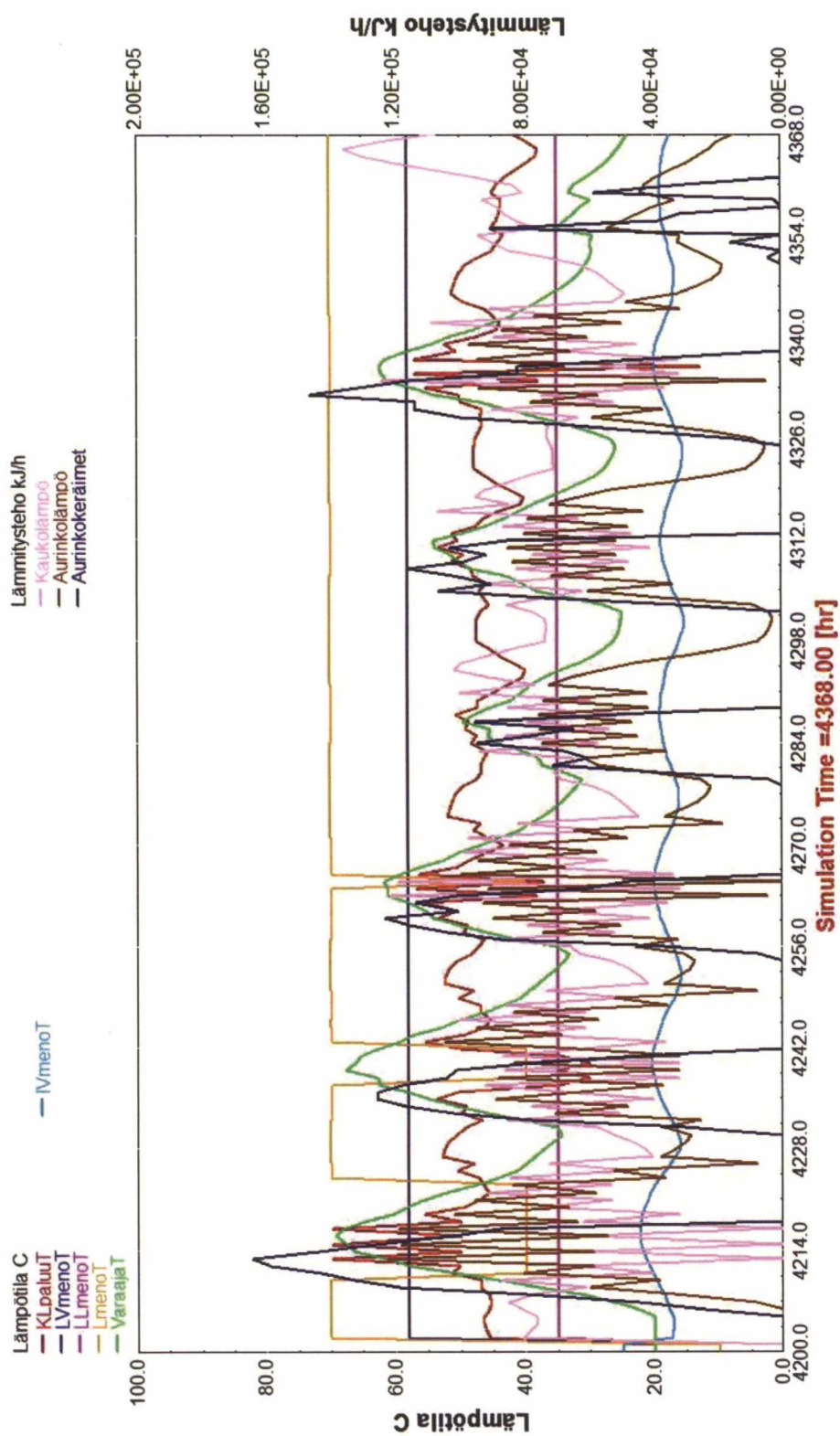
	KL paluu- läm- pötila (°C)	KL virtaa- ma (l/h)	KL ener- gianku- lutus (kWh)	AL ener- gianku- lutus (kWh)	AL osuus (%)	CO ₂ -päästöt (kg)	Ener- gian hintaa (€)
Tammi	40,2	1545,0	43733,4	0,0	0,0	13741+0	2777
Helmi	40,1	1545,8	39592,8	186,9	0,5	12440+0	2514
Maalis	40,9	1297,7	35641,9	2056,8	5,5	11199+0	2263
Huhti	42,5	986,2	24502,7	4889,1	16,6	5913+56	1556
Touko	45,8	776,1	17482,9	8097,6	31,7	4219+87	1110
Kesä	46,2	705,6	14601,6	9089,2	38,4	1168+77	927
Heinä	46,1	715,8	15574,0	8675,6	35,8	1246+82	989
Elo	44,7	773,6	18018,2	6459,0	26,4	1441+75	1144
Syys	42,2	858,2	21240,4	3109,5	12,8	5125+46	1349
Loka	40,2	968,7	26596,7	741,2	2,7	6418+14	1689
Marras	39,9	1182,8	32118,8	0,0	0,0	10092+0	2039
Joulu	40,0	1400,7	39526,7	0,0	0,0	12419+0	2510
Vuosi	42,4	1060,2	328533,5	43400,6	11,7	85421+437	20865
Mak- simi	70,0	2 588,9					



Kuva 9.1. Lamellitalon varaajalla varustetun kaukolämpökytkennän simuloinnin kuvaaja viikolta 10.



Kuva 9.2. Lamellitalon yhdellä varaajalla varustetun integroidun kytkennän simuloinnin kuvaaja viikolta 26.



Kuva 9.3. Lamellitalon kahdella varaajalla varustetun integroidun kytkennän simuloinnin kuvaaja viikolta 26.

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
LVI-kirjasto
PL 4100 (Otakaari 4)
02015 TKK
puh. 09-451 3601